

## Beschreibung

Vorrichtung zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden Hochspannungsleitung

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden aus mehreren Phasen bestehenden Hochspannungsleitung mit wenigstens einer in Reihenschaltung in die Hochspannungsleitung einfügbaren Regelspule und mit wenigstens einer jeweils einer der Regelspulen zugeordneten Schalteinrichtung, wobei eine Steuerungseinheit zum Steuern jeder Schalteinrichtung auf eine Weise vorgesehen sind, dass durch das Schalten der Schalteinrichtung die in der Vorrichtung wirkende Reaktanz der Regelspule einstellbar ist.

15

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren und eine Steuerungseinheit zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden Hochspannungsleitung.

20

Eine solche Vorrichtung, ein solches Verfahren und eine solche Steuerungseinheit sind beispielsweise aus der DE 37 87 335 T2 bekannt. Die dort offenbare Vorrichtung ist ferner in Figur 1 der beigefügten Zeichnung verdeutlicht. Die vorbekannte Vorrichtung 1 weist eine Regelspule 2 und eine nicht geregelte Spule 6 auf, die durch zweckmäßige in Figur 1 nicht gezeigte Anschlüsse oder Schalter in Reihe in eine Wechselstrom führende Hochspannungsleitung einfügbar ist. Zum Regeln der in der Vorrichtung 8 wirkenden Impedanz der Regelspule 2 ist eine Schalteinrichtung 3 vorgesehen, die durch zwei gegensinnig geschaltete Thyristoren realisiert ist. Die Thyristoren sind mit einer Steuerungseinheit 4 verbunden, durch deren Steuerungssignale der Stromfluss über die Thy-

30

ristoren unterbrochen beziehungsweise ermöglicht wird. Durch zweckmäßige Wahl des Zeitpunktes zur Zündung der Thyristoren in Abhängigkeit der Phase eines Wechselstromes in der Hochspannungsleitung ist die in der Vorrichtung wirksame Impedanz der Regelspule 2 und somit die Impedanz der gesamten Vorrichtung einstellbar. Dieser von der Phase des Wechselstromes abhängige Ansprechzeitpunkt der Thyristoren wird im Folgenden als Zündwinkel bezeichnet. Durch die statische Stromunterbrechung des Wechselstromes durch die Thyristoren des Regelungs-  
5 zweiges 5 werden auch höhere Ordnungen, also ganzzahlige Vielfache der Grundschiwingung des Wechselstromes erzeugt. Aus diesem Grund ist parallel zum Regelungsweig 5 eine Filtereinheit 7 vorgesehen, die zum Unterdrücken einer oder mehreren dieser harmonischen Schwingungsanteile eingerichtet ist.  
15 Darüber hinaus dienen die Filtereinheit und die Filterspule 6 zum Erhalt des Stromweges durch die Vorrichtung, wenn sich die Schalteinrichtung 3 in einer den Stromfluss unterbrechenden Stellung befindet. Durch diese zusätzlichen Komponenten ist die vorbekannte Vorrichtung jedoch raumgreifend und kostenintensiv. Darüber hinaus sind die Regelungsmöglichkeiten der vorbekannten Vorrichtung begrenzt, da deren Impedanz nicht auf Null sondern lediglich auf die Impedanz der parallel geschalteten Spulen 2 und 6 heruntergefahren werden kann.  
25 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art bereit zu stellen, die kompakt und kostengünstig ist, sowie ein eingangs genanntes Verfahren sowie eine Steuerungseinheit bereitzustellen, mit  
30 der die Impedanz einer Hochspannungsleitung auf einfache Art und Weise gesteuert werden kann.

Die Erfindung löst diese Aufgabe hinsichtlich der Vorrichtung dadurch, dass jede Schalteinrichtung parallel zu der ihr zugeordneten Regelspule in einem Parallelzweig angeordnet ist.

- 5 Die Erfindung löst diese Aufgabe weiterhin mit einem Verfahren, bei dem durch Auslösen einer Schalteinrichtung, die parallel zu einer in Reihe in die Hochspannungsleitung einfügbaren Regelspule in einem Parallelzweig angeordnet ist, die Regelspule in Abhängigkeit der Phase des Wechselstroms überbrückt und auf diese Weise die Impedanz der Hochspannungsleitung eingestellt wird.

- Die Erfindung löst die Aufgabe ferner durch eine Steuerungseinheit zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden Hochspannungsleitung mit einem Phasengeber zum Erzeugen eines Nulldurchgangssignals bei Nachweis eines Nulldurchgangs des Wechselstroms und wenigstens einer Auslöseeinheit, die mit dem Phasenmesser sowie mit einem Zündwinkelgeber zum Bereitstellen eines Zündwinkels für die Auslöseeinheit verbunden ist und die bei Erhalt eines Nulldurchgangssignals nach einer dem Zündsignal entsprechenden Verzögerungszeit ein Auslösesignal erzeugt, das zum Regeln der Impedanz der Hochspannungsleitung durch Überbrücken einer in Reihe in die Hochspannungsleitung eingefügten Regelspule mittels einer Schalteinrichtung dient.

- Erfindungsgemäß ist die Regelungsspule nicht mehr wie im Stand der Technik in Reihenschaltung zur Schalteinrichtung angeordnet. Vielmehr ist die Regelungsspule durch die Schalteinrichtung überbrückbar, womit ein gegenüber dem Stand der Technik abweichendes erfindungsgemäßes Regelungsverfahren verknüpft ist. Durch die erfindungsgemäße Schaltanordnung ist es ferner möglich, auf zusätzliche, nicht geregelte Spulen

oder Filtereinheiten nahezu vollständig zu verzichten. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Regelspule im Sinne der Erfindung nicht als ein einziges Bauteil realisiert sein muss.

5 Vielmehr ist es erfindungsgemäß auch möglich, mehrere Spulen in dem jeweiligen Parallelzweig in Reihe zu schalten. In diesem Fall ist unter dem Begriff "Regelspule" die Summe aller Spulen in den Parallelzweig zu verstehen.

10 Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur Steuerung der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Dabei wird das erfindungsgemäße Verfahren bevorzugt mittels der erfindungsgemäßen Steuerungseinheit angewendet.

15 Vorteilhafterweise weist die erfindungsgemäße Vorrichtung einen Parallelzweig auf, der frei von induktiven Bauteilen wie Spulen oder dergleichen ist auch wenn diese lediglich zur Unterdrückung von transienten Effekte vorgesehen sind und keinen Einfluss auf die Regelungscharakteristik nehmen.

20 Als Schalteinheit kommt beispielsweise ein schneller mechanischer Schalter in Betracht. Zweckmäßigerweise besteht jedoch wenigstens eine Schalteinrichtung aus gegensinnig geschalteten Thyristoren. Durch die Verwendung von Thyristoren sind die Regelungsmöglichkeiten der Impedanz durch die Steuerungseinheit verbessert. Die Thyristoren werden erfindungsgemäß  
25 beispielsweise als schneller Schalter eingesetzt. Ihr Schaltverhalten ist über sogenannte elektrische oder optische Zündsignale und somit auf besonders einfache Weise an die jeweils erforderlichen Umstände anpassbar. Als Thyristoren eignen  
30 sich alle bislang bekannten hochspannungstauglichen Halbleiterbauteile auf Silizium oder aber auch Carbid-Basis. Beispiele geeigneter Silizium-Thyristoren umfassen elektrisch

5

gezündete Thyristoren, optisch gezündete Thyristoren, sogenannte GTO's aber auch IGBT's.

Vorteilhafterweise weist die Steuerungseinheit eine mit  
5 Stromgebern verbundene Nulldurchgangseinheit zum Nachweis eines Nulldurchgangs des Wechselstromes und wenigstens eine mit einem Zündwinkelgeber verbundene Auslöseeinheit auf. So kann der Stromgeber beispielsweise ein digitale Stromwerte abgebender Stromgeber sein, der einen Stromwandler zum Erzeugen  
10 eines zum Wechselstrom proportionalen Sekundärstromes, eine Abtasteinrichtung zum Abtasten des Sekundärstromes in einem Abtasttakt unter Gewinnung von Stromwerten und einen Analog-Digital-Wandler zum Umwandeln der abgetasteten Stromwerte in digitale Stromwerte aufweist. Ein Vorzeichenwechsel der digitalen Stromwerte wird beispielsweise durch eine hierfür übliche  
15 Software der Nulldurchgangseinheit erkannt, die daraufhin einen Nulldurchgangssignal an die mit ihr in Verbindung stehende Auslöseeinheit sendet. Die Auslöseeinheit ist über den Zündwinkelgeber mit einem Zündwinkel versorgt. Dieser Zündwinkel entspricht einer Zeitdauer, nach der die Auslöseeinheit im Anschluss an einen Nulldurchgang des Wechselstroms ein Zündsignal zum Zünden der Thyristoren an diese sendet.  
20 Durch die Wahl des Zündwinkels ist somit eine beliebige Phasenverschiebung zwischen dem Nulldurchgang des Wechselstromes und der Stromüberbrückung durch die Thyristoren ermöglicht.  
25

Bei einem von hier abweichenden Ausführungsbeispiel ist die Steuereinheit als analoge Steuereinheit mit diesbezüglich üblichen dem Fachmann bekannten Bauteilen realisiert.

30

Gemäß einer diesbezüglich zweckmäßigen Weiterentwicklung ist der Zündwinkelgeber mit einem Stromgeber zum Messen des Wechselstroms und mit einem Spannungsgeber zum Messen der Span-

nung der Hochspannungsleitung gegenüber dem Erdpotential oder der Spannungen zwischen den Phasen verbunden, wobei die Steuerungseinheit weiterhin über ein Festspeicherelement verfügt, das zur Aufnahme von Stellparametern vorgesehen ist, wobei

5 wenigstens eine Abgleicheinheit zum Feststellen von Abweichungen zwischen den Stellparametern und den Messwerten des Stromgebers und/oder des Spannungsgebers oder zwischen den Stellparametern und Messgrößen, die aus den Messwerten des Strom- und/oder Spannungsgebers berechnet sind, vorgesehen

10 ist. Mit anderen Worten ist jede Abgleicheinheit mit einem oder mehreren Sollwerten versehen, die beispielsweise einem Sollstromwert, einem Sollspannungswert oder beispielsweise einem aus diesen beiden elektrischen Größen berechneten Sollwert einer Wirk- oder Blindleistung entsprechen. Stellt die

15 jeweilige Abgleicheinheit eine den Toleranzbereich überschreitende Differenz zwischen den jeweils gemessenen Ist- und Sollwerten oder zwischen den aus den gemessenen Größen berechneten Istwerten und den Sollwerten fest, bewirkt sie eine Verschiebung des Zündwinkels in eine solche Richtung,

20 dass die Abweichung zwischen dem Ist- und dem Sollwert wieder in den Toleranzbereich hinein verschoben wird. Der Toleranzbereich ist von der jeweiligen Anwendung der Vorrichtung abhängig und beträgt typischerweise 1 % bezogen auf den jeweiligen Sollparameter.

25

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterentwicklung ist die erfindungsgemäße Vorrichtung mit zwei in Reihe angeordneten Regelspulen versehen, die jeweils eine in einem Parallelzweig angeordnete Schalteinrichtung in einer Parallelschaltung auf-

30 weisen. Gemäß dieser vorteilhaften Weiterentwicklung ist es möglich, im Vergleich zu Vorrichtungen mit einer überbrückbaren Regelspule weniger raumgreifende Hochspannungsbauteile zur Ausbildung der Gesamtvorrichtung einzusetzen. Weiterhin

wird der harmonische Anteil der an der Vorrichtung abfallenden Spannung im Vergleich zu einer Vorrichtung mit lediglich einer regelbaren Reaktanz herabgesetzt.

- 5    Gemäß einer diesbezüglichen zweckmäßigen Weiterentwicklung weist die Steuerungseinheit zwei Auslöseeinheiten auf, die jeweils mit einer Schalteinrichtung zusammenwirken. Die Steuerungseinheit ist ferner mit zwei unterschiedlichen Zündwinkelgebern verbunden, so dass die Zündung der Schalteinrichtungen  
10    zeitlich unabhängig voneinander regelbar ist.

Bei dieser Ausgestaltung ist eine Weiterentwicklung dahin möglich, dass lediglich eine der Schalteinrichtungen gegen-  
sinnig geschaltete Thyristoren aufweist, wobei die andere  
15    Schalteinrichtung als mechanischer Schalter realisiert ist. Auf diese Weise werden die Regelungsmöglichkeiten der Vorrichtung zwar herabgesetzt. Eine solche Variante ist jedoch kostengünstig und hinsichtlich der Steuerungsmöglichkeit vereinfacht.

20

Vorteilhafterweise ist ein in Reihe zur Regelspule geschalteter Kondensator vorgesehen, der mittels einer parallel zum Kondensator in einem Kondensatorparallelzweig angeordneten Kondensatorschalteinheit überbrückbar ist. Durch den Zusatz  
25    eines Kondensators in Reihenschaltung wird der durch die Vorrichtung regelbare Bereich der Impedanz beträchtlich vergrößert. Gemäß dieser vorteilhaften Weiterentwicklung der Erfindung sind zwei regelbare Reaktanzbereiche bereitgestellt, wobei jedoch lediglich eine gemeinsame Steuerung zum Regeln der  
30    Gesamtimpedanz erforderlich ist. Selbstverständlich ist die Reihenanordnung von regelbaren Reaktanzen auch durch weitere solcher in Reihenschaltung angeordnete Module erweiterbar.

8

Gemäß einer diesbezüglichen zweckmäßigen Weiterentwicklung ist eine Filtereinheit vorgesehen, die parallel zu einem die Regelspule und den Kondensator in Reihenschaltung aufweisenden Reihenzweig angeordnet. Die Filtereinheiten können nur  
5 dann eingesetzt werden, wenn neben wenigstens einer Regelspule auch ein Kondensator oder eine Spule in der überbrückten Reihenschaltung vorgesehen ist.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterentwicklung der erfindungsgemäßen Steuerungseinheit ist wenigstens einer der Schalteinrichtungen durch gegensinnig geschaltete Thyristoren realisiert. Selbstverständlich können auch alle Schalteinrichtungen aus gegensinnig geschalteten Thyristoren bestehen.

15 Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung unter Bezug auf die Figuren der Zeichnung, wobei gleich wirkende Bauteile mit gleichen Bezugszeichen versehen sind und wobei

20

Figur 1 eine gattungsgemäße Vorrichtung gemäß dem Stand der Technik zeigt,

Figur 2 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zeigt,

25 Figur 3 die Wirkungsweise der Vorrichtung gemäß Figur 2 anhand zeitlich aufgelöster Strom- oder Spannungskurven schematisch verdeutlicht,

Figur 4 die Reaktanz der Vorrichtung gemäß Figur 2 bezogen auf die Reaktanz der Regelspule in Abhängigkeit des  
30 Zündwinkels zeigt,



Figur 5 die an der Vorrichtung abfallende Grundswingungskomponente der Spannung bei verschiedenen Zündwinkeln zeigt,

5 Figur 6 eine digitale Simulation des sich ändernden Leistungsflusses in der Hochspannungsleitung bei Veränderung des Zündwinkels der Schaltungseinrichtung der Vorrichtung gemäß Figur 2 zeigt,

10 Figur 7 die Anteile der Grundswingung und der höheren harmonischen Schwingungen der Spannung, die an der Vorrichtung gemäß Figur 2 bei konstantem Wechselstrom abfällt, in Abhängigkeit des Zündwinkels zeigt,

Figur 8 eine die Steuerungseinheit der Vorrichtung gemäß Figur 2 verdeutlichende Darstellung zeigt,

15 Figur 9 eine genauere Darstellung der Steuerungseinheit gemäß Figur 8 zeigt,

Figuren 10 und Figur 11 Kennlinien der Steuerungseinheit gemäß Figur 9 zeigen,

20 Figur 12 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zeigt,

Figur 13 die Steuerungsmittel einer Vorrichtung gemäß Figur 12 verdeutlicht,

25 Figur 14 berechnete Spannungsverläufe der Grund- und der harmonischen Spannungskomponenten in Abhängigkeit des Zündwinkels einer Vorrichtung gemäß Figur 13 zeigt,

Figur 15 Kennlinien der Steuerungseinheit gemäß Figur 13 verdeutlicht,

Figuren 16 und 17 von Figur 15 abweichende Kennlinien

10

einer Steuerungseinheit für eine Vorrichtung gemäß  
Figur 13 zeigen,

Figur 18 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsge-  
mäßen Vorrichtung zeigt,

5 Figur 19 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsge-  
mäßen Vorrichtung zeigt,

Figur 20 ein die Steuerung der Vorrichtung gemäß Figur 19  
verdeutlichtende Darstellung zeigt,

10 Figuren 21 bis 23 Kennlinien der Steuerungseinheit gemäß  
Figur 20 verdeutlichen und

Figur 24 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsge-  
mäßen Vorrichtung zeigt.

Figur 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen  
15 Vorrichtung 8, die über in Figur 2 nicht erkennbare Schalter  
in eine Hochspannungsleitung 9 einfügbar ist, die zur Über-  
tragung einer Leistung zwischen zwei Knoten eines elektri-  
schen Energieverteilungsnetzes vorgesehen ist. Dabei ist die  
Vorrichtung 8 in Reihe in der Hochspannungsleitung 9 also so  
20 angeordnet, dass der gesamte durch die Hochspannungsleitung 9  
geführte Wechselstrom über die Vorrichtung 8 fließt. Die  
Hochspannungsleitung besteht wie üblich aus drei Phasen also  
drei nebeneinander geführten Hochspannungsleitern, von denen  
aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Figuren der Zeich-  
25 nung nur eine Phase verdeutlicht ist. Die anderen, nicht ge-  
zeigten Phasen der Hochspannungsleitung 9 sind auf die glei-  
che Art und Weise wie die in den Figuren der Zeichnung ver-  
deutlichte Phase mit der Vorrichtung 8 verbunden. Entspre-  
chend ist die Einrichtung 8 selbstverständlich mit einer  
30 Hochspannungsleitung verbindbar, die mehr als drei Phasen  
oder weniger als drei Phasen aufweist.

11

Die Vorrichtung 8 umfasst eine Regelspule 2 sowie eine Schalteinrichtung 3, die hier durch zwei gegensinnig geschaltete Thyristoren 10 realisiert ist. Dabei ist die Schalteinrichtung 3 parallel zur Regelspule 2 in dem Parallelzweig 5 angeordnet.

Die Thyristoren 10 sind über zweckmäßige Steuerleitungen 11 jeweils mit einer Steuerungseinheit 4 verbunden, die zum Erzeugen eines Zündsignals in Abhängigkeit der Phase des Wechselstromes in der Hochspannungsleitung 9 eingerichtet ist.

Figur 3 verdeutlicht die Wirkungsweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8 gemäß Figur 2 anhand zeitaufgelöster schematischer Strom- beziehungsweise Spannungskurven. In Figur 3a sind zwei Schwingungsperioden eines idealisierten sinusförmigen Wechselstromes  $I_{Leit}$  in der Hochspannungsleitung 9 gezeigt, wobei die Amplitude des Wechselstromes 1,5 kA beträgt. Zum Zeitpunkt  $t_0$  befinden sich die Thyristoren 10 der Schalteinrichtung 3 in einer Sperrstellung, so dass der in Figur 3b dargestellte über die Regelspule 2 geführte Strom demjenigen des Wechselstromes der Hochspannungsleitung 9 im Wesentlichen entspricht. Der über den Parallelzweig 5 geführte Strom ist in Figur 3c verdeutlicht. Dieser ist im Zeitpunkt  $t_0$  folglich gleich Null.

25

Wird der durch  $\alpha$  in Figur 3 verdeutlichte Zeitpunkt erreicht, erfolgt die Zündung der Thyristoren 10 der Schalteinrichtung 3 durch die Steuerungseinheit 4. Durch die Selbstinduktion der Spule bleibt der in Figur 3b gezeigte Spulenstrom im Wesentlichen konstant. Der in Figur 3c gezeigte über den Parallelzweig 5 geführte Strom erreicht im Scheitelpunkt des Wechselstromes ebenfalls ein relatives Minimum. In dem mit  $\beta$  verdeutlichten Zeitpunkt wird der über den Parallelzweig und

30

12

somit über die Schalteinrichtung 3 mit den Thyristoren 10 geführte Strom gleich Null, wodurch die Thyristoren 10 erneut in die Sperrstellung überführt werden. Ab diesem Zeitpunkt entspricht der über die Regelspule 2 geführte Strom wieder dem Wechselstrom der Hochspannungsleitung 9. Dieser Vorgang wiederholt sich anschließend - diesmal jedoch im positiven Bereich des Wechselstromes, also bei umgekehrten Vorzeichen des Wechselstromes.

10 In Figur 3d ist die an der Schalteinrichtung 3 abfallende Spannung verdeutlicht. Deren Betrag ist im Zeitpunkt  $t_0$  maximal und entspricht dem Betrag von etwa -40 kV. Im Zeitpunkt  $\alpha$  kommt es zur Zündung der Thyristoren 10, woraufhin die Spannung auf einen Nullwert abfällt, um im Zeitpunkt  $\beta$  auf +28 kV anzusteigen.

Figur 3e zeigt das Ergebnis der Berechnung der Grundschrwingungskomponente der an der Vorrichtung 8 insgesamt abfallenden Spannung. Es wird erkennbar, dass der Grundschrwingungsanteil der Spannung gegenüber dem in Figur 3a gezeigten Strom um +90 Grad phasenverschoben ist. Wie nachfolgend ausgeführt werden wird, ist die Amplitude des Grundschrwingungsanteils vom Zündwinkel  $\alpha$  abhängig. Aus diesem Grunde wirkt die Vorrichtung 8 wie eine regelbare Reaktanz.

25

Im Zeitraum zwischen dem ersten Zünden der Thyristoren  $\alpha$  und der nachfolgenden Unterbrechung des Stromes durch die Thyristoren  $\pi - \alpha$ , also  $\beta$  ist die an der Zündvorrichtung 8 abfallende Spannung, wie in Figur 3d erkennbar, gleich Null. Im Sperrzustand der Thyristoren 10, hängt die abfallende Spannung  $V(t)$  von der Änderung des Stromes sowie der Induktivität der Regelspule ab. Es gilt

30

$$\begin{aligned}
 V(t) &= 0 && \text{für } \alpha < \omega t < (\pi - \alpha) \\
 V(t) &= L_{RSP} \frac{d(I_{Leit})}{dt} && \text{für } (\pi - \alpha) < \omega t < (\pi + \alpha),
 \end{aligned}$$

5 wobei  $I_{Leit}$  dem Wechselstrom in der Hochspannungsleitung 9 und  $L_{RSP}$  der Induktivität der Regelspule entspricht.  $\alpha$  steht für den Zündwinkel im Bogenmaß und  $\omega$  - ebenfalls im Bogenmaß - für die Winkelgeschwindigkeit. Mit  $I_{Leit} = I_0 \sin(\omega t)$  ergibt sich

10

$$V(t) = L_{RSP} \omega I_0 \cos(\omega t) \text{ für } (\pi - \alpha) < \omega t < (\pi + \alpha)$$

Die Grundswingungskomponente von  $V(t)$  kann unter Anwendung  
 15 von Fourier-Techniken berechnet werden. Hierbei wird näherungsweise davon ausgegangen, dass die Resistenz der Vorrichtung gleich Null ist. Daher ist nur der Schwingungsanteil, der an der Vorrichtung 8 abfallenden Spannung von Interesse, der gleichphasig mit  $\cos(\omega t)$  ist. Wie in Figur 3 gezeigt,  
 20 sind die positiven und negativen Halbzyklen der an der Vorrichtung abfallenden Spannung symmetrisch. Daher ist die Größe des Anteils der Grundswingung der an der Vorrichtung 8 abfallenden Spannung  $V_{SUM}$  gegeben durch

25

$$\begin{aligned}
 V_{SUM} &= \frac{2}{\pi} \cdot \int_{\pi-\alpha}^{\pi+\alpha} V(t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot d(\omega \cdot t) \\
 &= \frac{2}{\pi} \cdot I_0 \cdot \omega \cdot L_{RSP} \cdot \int_{\pi-\alpha}^{\pi+\alpha} \cos^2(\omega \cdot t) \cdot d(\omega \cdot t)
 \end{aligned}$$

$$= \frac{2}{\pi} \cdot I_0 \cdot \omega \cdot L_{RSP} \cdot \left( \alpha + \frac{\sin(2 \cdot \alpha)}{2} \right)$$

für  $\alpha$  zwischen 0 und 90 Grad.

5 Somit ergibt sich die Reaktanz bei der Grundschiwingung gemäß

$$\frac{X_{SUM}}{X_{RSP}} = \frac{2}{\pi} \cdot \left( \alpha + \frac{\sin(2 \cdot \alpha)}{2} \right)$$

Figur 4 zeigt die auf die Reaktanz der Regelspule 2  $X_{RSP}$  nor-  
 10 mierte Reaktanz der Vorrichtung 8  $X_{SUM}$  in Abhängigkeit ver-  
 schiedener Zündwinkel  $\alpha$ , die in Figur 4 in der Einheit des  
 Bogenmaßes angegeben ist. Es ist erkennbar, dass die Impedanz  
 der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8 bei Zündwinkeln im Be-  
 reich von 0 Grad zu vernachlässigen ist, während diese bei  
 15 Zündwinkeln größer als 70 Grad sich asymptotisch dem Höchst-  
 wert nähert, der von der Reaktanz der Regelspule  $X_{RSP}$  bestimmt  
 ist.

Figur 5 zeigt die an der Vorrichtung 8 abfallende Gesamtspan-  
 20 nung  $V_{SUM}$ , wobei der Funktionsverlauf durch viereckige Punkte  
 gekennzeichnet ist. Weiterhin ist in Figur 5 der anhand eines  
 vereinfachten Modells berechnete Grundschiwingungsanteil der  
 Spannung in einer Kurve  $V_G$  verdeutlicht, die mit runden Punk-  
 ten gekennzeichnet ist. Bei der Berechnung wurde von einem  
 25 idealen sinusförmigen Wechselstrom mit einer Amplitude von  
 1,5 kA ausgegangen, wobei die Regelspule 2 eine Induktivität  
 von 80 Milli-Henry aufwies. In Figur 5a sind die Spannungs-  
 verläufe bei einem Zündwinkel  $\alpha$  von 10° dargestellt. Dies  
 bedeutet, dass bereits nach einer kurzen Zeitdauer im An-  
 30 schluss an einen Nulldurchgang des Wechselstromes in der  
 Hochspannungsleitung 9 ein Steuerpuls für die Thyristoren 10

der Schalteinrichtung 3 ausgelöst wird, wodurch die Regelspule 2 überbrückt und die Spannung abgebaut wird.

Die Zündwinkel  $\alpha$  der Figuren 5b, 5c, 5d und 5e betrugen 20, 30, 45 beziehungsweise 60°. Es ist erkennbar, dass die Amplitude der Grundschiwingung mit größer werdendem Zündwinkel ansteigt und in Figur 5e der Verlauf der Grundschiwingung dem Spannungsabfall der Vorrichtung 8 im Wesentlichen entspricht.

Figur 6 zeigt eine digitale Simulation auf der Grundlage desselben vereinfachten Modells, das auch der Figur 5 zu Grunde lag. Die gezeigten Ergebnisse basieren auf der Annahme einer Reaktanz einer Hochspannungsleitung von 45 Ohm bei 50 Hz, wobei die Vorrichtung 8 mit einer Regelspule 2 von 80 Milli-Henry bestückt ist. In Figur 6a ist der jeweils für die Rechnung gewählte Zündwinkel  $\alpha$  im Bogenmaß in Abhängigkeit der Zeit in Sekunden aufgetragen, wobei  $\alpha$  nach 0,2 sec noch 0 beträgt, und nach 0,8 sec auf 90 Grad angestiegen ist. Figur 6b zeigt wieder die an der Vorrichtung abfallende Spannung  $V_{\text{SUM}}$  in Abhängigkeit der Zeit, deren Verlauf sich mit ansteigendem Zündwinkel mehr und mehr einem sinusförmigen Verlauf annähert. In Figur 6c ist der Wechselstrom der Hochspannungsleitung aufgetragen, dessen Amplitude mit anwachsendem Zündwinkel abnimmt. Figur 6d verdeutlicht die Wirkleistung  $P_w$ , die durch die Hochspannungsleitung transportiert wird und deren Betrag erwartungsgemäß mit größer werdenden Zündwinkeln  $\alpha$  abnimmt.

In Figur 7 sind die Amplituden der Grundschiwingung sowie der höheren harmonischen Schwingungsanteile der an der Vorrichtung 8 abfallenden Spannung bis zur 13. Harmonischen  $V_x$  bezogen auf die Amplitude der Gesamtspannung  $V_{\text{SUM}}$ , in Abhängigkeit

16

des Zündwinkels  $\alpha$  gezeigt. Es ist erkennbar, dass die Amplitude  $Y$  der höheren Schwingungen bei größer werdenden Zündwinkeln kleiner wird und der Grundschwingungsanteil an der Gesamtspannung bei Zündwinkeln von 90 Grad nahezu 100 % beträgt.

Figur 8 zeigt die Vorrichtung 8 gemäß Figur 2, wobei jedoch die Steuerungseinheit 4 detaillierter dargestellt ist. Wie in Figur 8 erkennbar umfasst die Steuerungseinheit 4 einen Null-  
10 durchgangsgeber 12 sowie eine Auslöseeinheit 13, wobei der Nulldurchgangsgeber 12 mit einem Stromgeber 14 verbunden ist. Der Stromgeber 14 seinerseits besteht beispielsweise aus einem nicht gezeigten Stromwandler, der einen dem Wechselstrom in der Hochspannungsleitung 9 proportionalen Sekundärstrom  
15 erzeugt, welcher von einer ebenfalls nicht gezeigten Abtasteinheit des Stromgebers 14 unter Gewinnung von Abtastwerten abgetastet und die Abtastwerte anschließend von einem nicht gezeigten Analog-Digital-Wandler in digitale Stromwerte  $I_{Leit}$  umgewandelt und dem Nulldurchgangsgeber 12 über eine Verbin-  
20 dungsleitung 15 zugeführt werden. Stellt der Nulldurchgangsgeber 12 einen Vorzeichenwechsel der digitalen Stromwerte  $I_{Leit}$  fest, sendet dieser Nulldurchgangspulse 16 an die Auslöseeinheit 13. Nach Erhalt der Nulldurchgangspulse 16 sendet die Auslöseeinheit 13 nach einer Verzögerungszeit  $\alpha$  Auslöse-  
25 pulse 17 an die Thyristoren 10 der Schalteinrichtung 3, die daraufhin von einer Sperrstellung, in der ein über den Parallelzweig 10 geführter Strom unterbrochen ist, in eine Durchlassstellung überführt werden, in der ein Stromfluss über den Parallelzweig 5 ermöglicht ist. Die Verzögerungszeit, mit der  
30 die Auslöseeinheit 13 die Abgabe der Auslösepulse 17 nach Erhalt der Nulldurchgangspulse 16 verzögert, entspricht dem Zündwinkel  $\alpha$ , welcher der Auslöseeinheit 13 über eine Signalleitung 18 zugeführt wird. Durch Veränderung des Zündwin-



17

kelparameters  $\alpha$  über die Signalleitung 18 ist somit eine Steuerung der Impedanz und daher die über die Hochspannungsleitung 9 übertragene Wirkleistung regelbar.

5 Figur 9 zeigt eine genauere Darstellung der Steuerungseinheit 4 der Vorrichtung 8 gemäß Figur 8 und insbesondere die Komponenten eines Zündwinkelgebers 19 zur Erzeugung eines zur Steuerung der Vorrichtung 8 geeigneten Zündwinkels  $\alpha$ . Der Zündwinkelgeber 19 weist einen Echtstromgeber 20 sowie einen  
10 Echtleistungsgeber 21 auf. Dabei ist der Echtstromgeber 20 mit dem Stromgeber 14 verbunden und zum Empfang der digitalen Stromwerte 19, die von dem Stromgeber wie zuvor beschrieben erzeugt werden, eingerichtet.

15 Der Echtleistungsgeber 21 ist sowohl mit dem Stromgeber 14 als auch mit einem Spannungsteiler 22 verbunden, dessen Ausgangssignal  $V_{Leit}$  proportional zu der Spannung in der Hochspannungsleistung 9 gegenüber Erdpotential ist. Die vom Spannungsteiler 22 abgegebenen analogen Signale werden vom Echt-  
20 leistungsgeber 21 abgetastet und digitalisiert und mit den digitalen Stromwerten des Spannungsstandards 14 zu digitalen Leistungswerten, die einer durch die Hochspannungsleitung 9 übertragenen Leistungen entsprechen, umgerechnet.

25 Der Zündwinkelgeber 19 ist weiterhin über eine Sollstromleitung 23 sowie über eine Sollleistungsleitung 24 mit Stellparametern versorgbar, wobei die Stellparameter jeweils einer Abgleicheinheit 25 und 26 zugeführt werden. Die Sollstromleitung 23 oder die Sollleistungsleitungen 24 sind beispielsweise mit einem nicht gezeigten Rechner oder einer nicht gezeigten  
30 Leitstelle verbunden, womit ein Anwender in die Lage versetzt wird, der Steuerungseinheit 4 zweckmäßige Stellparameter zuzuführen. Die Abgleicheinheiten 25 und 26 sind jeweils

18

mit einem Proportional-Integral-Regler 27 und 28 verbunden, denen eine Auswahleinheit 29 nachgeschaltet ist. Die Auswahleinheit 29 dient zur Auswahl der Messgröße, die durch Vergleich mit einem Stellparameter überwacht und zur Regelung der Vorrichtung 8 verwendet werden soll. Zur Auswahl des jeweiligen Stellparameters ist die Auswahleinheit 29 über eine Auswahlleitung 30 beispielsweise mit dem Rechner oder der Leitstelle verbunden.

Die Auswahleinheit 29 ist ferner mit einer Sollzündwinkelleitung 31 verbunden. Durch zweckmäßige Einstellung der Auswahleinheit 29 über die Auswahlleitung 30 ist es daher möglich, den Zündwinkelgeber direkt mit einem Sollzündwinkel zu versorgen, der dann zur Steuerung der Vorrichtung 8 einsetzbar ist.

Ferner sind über weitere Steuerungsleitungen 32 zusätzliche Steuerungssignale in den Zündwinkelgeber 19 von außen beispielsweise über den Steuerungsrechner einsetzbar. Die zusätzlichen Steuerungssignale 32 können zusätzlich zu den oben beschriebenen Steuerungs- und Regulationsmaßnahmen zugeführt und zur Steuerung verwendet werden. Zur Regelung dient beispielsweise eine der Auswahleinheit 29 nachgeschaltete Abgleichereinheit 33. Weitere Steuerungssignale in diesem Sinne sind beispielsweise bekannte Steuerungsgrößen zur Steigerung der transienten Stabilität des Energieversorgungsnetzwerkes. Darüber hinaus ist der Einsatz der Vorrichtung 8 zum Dämpfen subsynchroner Resonanzen vorstellbar.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass in dem Figuren 8 und 9 die Steuerung lediglich schematisch gezeigt und üblicherweise vom Fachmann eingesetzte Begrenzer, Signalfilter

und dergleichen zwar nicht ausdrücklich erwähnt jedoch im Rahmen der Erfindung einsetzbar sind.

Das Ausgangssignal  $S_{IN}$  der Abgleicheinheit 33 wird einer Linearisierungseinheit 34 zugeführt, die zur Kompensation eines nicht linearen Verhaltens der Impedanz der Vorrichtung 8 bezüglich des besagten Ausgangssignals  $S_{IN}$  vorgesehen ist.

Die Figuren 10 und 11 verdeutlichen die Wirkungsweise der Linearisierungseinheit 34. In Figur 10 ist auf der Ordinate das Ausgangssignal  $\alpha$  der Linearisierungseinheit 34 in Abhängigkeit des Ausgangssignals der Auswahleinheit 29 bzw. der Abgleicheinheit 33 also des Eingangssignals  $S_{IN}$  der Linearisierungseinheit 34 aufgetragen. Es ist erkennbar, dass zwischen diesen Signalen ein nicht linearer Zusammenhang besteht. In Figur 11 ist auf der Ordinate zwischen 0 und 1 die auf den Maximalwert  $X_{MAX}$  normierte Reaktanz der Vorrichtung 8  $X_{SUM}$  in Abhängigkeit des Eingangssignals  $S_{IN}$  der Linearisierungseinheit 34 also des Ausgangssignals der Auswahleinheit 29 dargestellt. Es wird erkennbar, dass durch die Linearisierungseinheit 34 die gewünschte Proportionalität zwischen diesen beiden Größen hergestellt wird.

Figur 12 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die zwei in Reihenschaltung angeordnete Regelspulen 2 aufweist, welche jeweils durch einen separaten Parallelzweig 5, überbrückbar sind. Dabei ist jeder Parallelzweig mit einer Schalteinrichtung 3 versehen, deren gegensinnig geschaltete Thyristoren 10 von einer gemeinsamen Steuereinheit 4 gesteuert sind. Die gemeinsame Steuerung zweier Schalteinrichtungen 3 ist in Figur 13 verdeutlicht. Es ist erkennbar, dass die Steuerungseinheit 4 nunmehr zwei Auslöseeinheiten 13a und 13b aufweist, die jeweils einer Schalt-

20

einrichtung 3a beziehungsweise 3b zugeordnet sind. Dabei werden Auslöseeinheiten 13a und 13b mit unterschiedlichen Zündwinkeln  $\alpha_a$  und  $\alpha_b$  versorgt. Hierzu wird das Ausgangssignal der Auswahleinheit 29 beziehungsweise der Abgleicheinheit 33 in zwei Signale aufgespalten und jeweils einer Linearisierungseinheit 34a, die mit der Auslöseeinheit 13a verbunden ist, sowie einer Linearisierungseinheit 34b zugeführt, die zum Ansprechen der Auslöseeinheit 13b vorgesehen ist.

Figur 15a zeigt die Kennlinie der Linearisierungseinheit 34a, wobei in Figur 15b die Kennlinie der Linearisierungseinheit 34b aufgetragen ist. Hierbei ist der von der jeweiligen Linearisierungseinheit 34a bzw. 34b abgegebene Zündwinkel  $\alpha_a$  und  $\alpha_b$  in Abhängigkeit des Ausgangssignals  $S_{IN}$  der Abgleicheinheit 33 aufgetragen.

Figur 14 zeigt eine Figur 7 entsprechende Darstellung der berechneten Amplituden der Grundschiwingung sowie der höheren harmonischen Schwingungen der an der Vorrichtung 8 abfallenden Spannung  $V_x$  normiert auf die an der Vorrichtung 8 insgesamt abfallende Gesamtspannung  $V_{SUM}$  in Abhängigkeit des Ausgangssignals  $S_{IN}$  der Abgleicheinheit 33 einer Steuerungseinheit 4 gemäß Figur 9. Es ist erkennbar, dass ein besonders vorteilhafter linearer Zusammenhang zwischen dem Ausgangssignal  $S_{IN}$  der Abgleicheinheit 33 und der Amplitude der Grundschiwingung besteht.

In den Figuren 16 und 17 ist eine hiervon abweichende Konfiguration der Linearisierungseinheiten 34a und 34b gemäß Figur 13 gezeigt. Hierbei ist erkennbar, dass die erste Schalteinrichtung 3a, deren Schaltverhalten durch die Linearisierungseinheit 34a gesteuert ist, wie ein schneller Schalter betrieben ist. Bei normierten Ausgangssignalen  $S_{IN}$  der Abgleichein-

21

heit 33 unterhalb von 0,5 verbleibt die Schalteinrichtung 3a in einer Durchlassstellung, in der die gegensinnig geschalteten Thyristoren 10 der Schalteinrichtung 3 den Stromfluss durch den Parallelzweig 10a ermöglichen. Bei Ausgangssignalen  $S_{IN}$  der Abgleicheinheit 33 größer als 0,5 wird die Schalteinrichtung 3a in eine Sperrstellung überführt, so dass ein Stromfluss über den Parallelzweig 5a unterbrochen ist. Durch diese Steuerung ist ein Figur 14 im Wesentlichen entsprechender Verlauf der Spannungsamplituden der Grundswingungsanteile erzielbar.

Gemäß einem abweichenden nicht gezeigten Ausführungsbeispiel wird die in Figur 12 mit 3a bezeichnete Schalteinrichtung nicht durch zwei gegensinnig geschaltete Thyristoren, sondern durch einen mechanischen Schalter realisiert, der mit der Linearisierungseinheit 34a zusammenwirkt, deren Charakteristik der in Figur 16 gezeigten Charakteristik entspricht. Die Verwendung eines mechanischen Schalters statt der Thyristoren 10 bringt Kostenvorteile mit sich.

20

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8 ist in Figur 18 gezeigt. Es ist erkennbar, dass die mit einer gestrichelten Linie umgebene erfindungsgemäße Vorrichtung 8 aus einer mit einer weiteren gestrichelten Linie umgebenen induktiven Einheit 35 sowie aus einer mit einer gestrichelten Linie umgebenen kapazitiven Einheit 36 besteht, die durch mechanische Schalter 37 in Reihe zueinander schaltbar sind. Die induktive Einheit 35 entspricht weitestgehend dem in Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei jedoch ein Überbrückungszweig 38 zum Überbrücken der induktiven Einheit 35 vorgesehen ist. Die kapazitive Einheit 36 ist ebenfalls mittels eines Überbrückungszweiges 38 überbrückbar.

Die kapazitive Einheit 36 besteht weiterhin aus einem Kondensator 40 sowie einem Parallelzweig 41, in dem ein mechanischer Schalter 42 angeordnet ist. In Parallelschaltung zum Kondensator 40 sowie zum Schalter 42 ist ferner ein Varistor 43 sowie eine Funkentladungsstrecke 44 vorgesehen. Die kapazitive Einheit 36 entspricht somit einer als solchen vorbekannten Lösungen zur Kompensation der Impedanz einer Hochspannungsleitung 9 mit der Ausnahme, dass der Schalter 42 zur Überbrückung des Kondensators 40 durch dieselbe Steuerungseinheit 4 geöffnet bzw. geschlossen wird, die auch zur Steuerung der Schalteinrichtung 3 der induktiven Einheit 35 dient. Durch diese Reihenschaltungen von induktiver Einheit 35 und kapazitiver Einheit 36 ist die Regelungsbreite der Vorrichtung 8 erhöht.

Figur 19 zeigt ein dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 18 weitgehend entsprechendes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8. In dem in Figur 19 gezeigten Ausführungsbeispiel spricht die Steuereinheit 4 in der induktiven Einheit 36 jedoch eine Schalteinrichtung 3 an, die in Reihe zu einer Regelspule 2 angeordnet ist. Dabei ist die Schalteinrichtung 3 wieder durch zwei gegensinnig geschaltete Thyristoren 10 realisiert. Durch das Zünden der Thyristoren 10 wird die Reaktanz der Regelspule 2 der Vorrichtung zugeschaltet.

Auch die in Figur 19 gezeigte kapazitive Einheit 36 entspricht einer als solchen vorbekannten Vorrichtungen, die jedoch hier durch die gezeigte Kombination zur Erweiterung des Anwendungsbereichs der erfindungsgemäßen Vorrichtung 8 und gleichzeitig zur Steuerung der Impedanz der Hochspannungsleitung 9 dient.

Figur 20 zeigt schematisch die Steuerungseinheit 4 der Vorrichtung 8 gemäß Figur 19. Es ist erkennbar, dass auch hier zwei Auslöseeinheiten 13a und 13b vorgesehen sind, die jeweils mit einer Schalteinrichtung 3a und 3b verbunden sind. Die Auslöseeinheiten 13a und 13b stehen wiederum jeweils in Verbindung mit einer zugeordneten Linearisierungseinheit 34a und 34b, die jeweils mit einer unterschiedlichen jedoch zweckmäßigen Charakteristik belegt sind.

10

Ein Beispiel dieser Belegung ist in den Figuren 21, 22 und 23 zum Erhalt einer kontinuierlichen und bezüglich  $S_{IN}$  linearen Funktionsweise der Vorrichtung 8 gezeigt. Hierbei wurde von einer symmetrischen Reaktanz der Vorrichtung 8 ausgegangen, wobei auf der Abszisse abgetragene positive Werte für induktive, negative Abszissen-Werte hingegen für kapazitive Reaktanzen stehen. Figur 21 zeigt die Reaktanz der kapazitiven Einheit 36  $X_{ASC}$  in Abhängigkeit des Ausgangssignals  $S_{IN}$  der Abgleicheinheit 33. Figur 22 zeigt die Reaktanz der induktiven Einheit 35  $X_{TRIC}$  in Abhängigkeit des Ausgangssignals  $S_{IN}$  der Abgleicheinheit 33. Die sich ergebende Reaktanz  $X_{SUM}$  der Vorrichtung 8, die sich aus Gesamtreaktanz der in Reihe geschalteten induktiven Einheit 35 und kapazitiven Einheit 36 zusammensetzt, ist in Figur 23 in Abhängigkeit des Ausgangssignals  $S_{IN}$  der Abgleicheinheit 33 dargestellt. Es ist ein linearer Zusammenhang erkennbar.

20

25

30

Figur 24 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 8 mit einer induktiven Einheit 35 sowie kapazitiven Einheit 36, die in Reihe schaltbar sind, wobei dieser Reihenschaltung eine Filtereinheit 45 parallel geschaltet ist. Die Filtereinheit 45 stellt einen sogenannten einfach abgestimmten Filter dar, der beispielsweise zur Zün-

dung einer bestimmten harmonischen Schwingungskomponente der an der Vorrichtung 8 abfallenden Spannung eingerichtet ist.

Es sei abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass eine  
5 Filtereinheit 45 in Parallelschaltung erfindungsgemäß zur  
Vorrichtung 8 nur dann möglich ist, wenn neben einer indukti-  
ven Einheit 35 auch eine kapazitive Einheit 36 vorgesehen  
ist. Bei einem hiervon abweichenden Ausführungsbeispiel ist  
eine nicht regelbare induktive Einheit, also eine Spule, an-  
10 stelle der kapazitiven Einheit 36 in Reihenschaltung zur Re-  
gelspule 2 zu diesem Zweck, also zum Anschluss der Filterein-  
heit 45, vorgesehen.



## Patentansprüche

1. Vorrichtung (8) zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom führenden aus mehreren Phasen bestehenden Hochspannungsleitung (9) mit wenigstens einer in Reihenschaltung in die Hochspannungsleitung (9) einfügbaren Regelspule (2) und mit wenigstens einer jeweils einer Regelspule (2) zugeordneten Schalteinrichtung (3), wobei eine Steuerungseinheit (4) zum Steuern jeder Schalteinrichtung (3) auf einer Weise vorgesehen ist, dass durch das Schalten der Schalteinrichtung (3) die in der Vorrichtung (8) wirkende Reaktanz der Regelspule (2) einstellbar ist,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass  
jede Schalteinrichtung (3) parallel zu der ihr zugeordneten Regelspule (2) in einem Parallelzweig (5) angeordnet ist.
2. Vorrichtung (8) nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass  
wenigstens eine Schalteinrichtung (3) aus gegenseitig geschalteten Thyristoren (10) besteht.
3. Vorrichtung (8) nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass  
die Steuerungseinheit (4) eine mit Stromgebern (14) verbundene Nulldurchgangseinheit (12) zum Nachweis eines Nulldurchgangs des Wechselstroms und wenigstens eine mit einem Zündwinkelgeber (19) verbundene Auslöseeinheit (13,13a,13b) aufweist.
4. Vorrichtung (8) nach Anspruch 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass

26

der Zündwinkelgeber (19) mit einem Stromgeber (14) zum Messen des Wechselstroms und mit einem Spannungsgeber (22) zum Messen der Spannung der Hochspannungsleitung (9) gegenüber dem Erdpotential oder der Spannungen zwischen den Phasen verbunden ist, wobei die Steuerungseinheit (4) über ein Festspeicherelement verfügt, das zur Aufnahme von Stellparametern vorgesehen ist, wobei wenigstens eine Abgleicheinheit (25,26,33) zum Feststellen von Abweichungen zwischen den Stellparametern und den Messwerten des Strom- (14) und/oder des Spannungsgebers (22) oder zwischen den Stellparametern und aus den Messwerten des Strom- und/oder Spannungsgebers berechneten Messgrößen vorgesehen ist.

5. Vorrichtung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwei in Reihe angeordnete Regelspulen (2) vorgesehen sind, die jeweils eine in dem zugeordneten Parallelzweig (5) angeordnete Schalteinrichtung (3) in einer Parallelschaltung zu sich aufweisen.

6. Vorrichtung (8) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerungseinheit (4) zwei Auslöseeinheiten (13a,13b) aufweist, die jeweils mit einer Schalteinrichtung (3a,3b) zusammenwirken.

7. Vorrichtung (8) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine der Schalteinrichtungen (3b) gegensinnig geschaltete Thyristoren aufweist, wobei die andere Schalteinrichtung (3a) ein mechanischer Schalter ist.

27

8. Vorrichtung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h  
einen in Reihe zur Regelspule (2) geschalteten Kondensa-  
tor (40), der mittels einer parallel zum Kondensator  
5 (40) in einem Kondensatorparallelzweig (41) angeordneten  
Kondensatorschalteinheit (42) überbrückbar ist.
9. Vorrichtung (8) nach Anspruch 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
10 in dem Kondensatorparallelzweig (41) eine Spule vorgese-  
hen ist.
10. Vorrichtung (8) nach einem der Ansprüche 8 oder 9,  
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h  
15 eine Filtereinheit (45), die parallel zu einem die Re-  
gelspule (2) und den Kondensator (40) in Reihenschaltung  
aufweisenden Reihenzweig angeordnet ist.
11. Verfahren zum Einstellen der Impedanz einer Wechselstrom  
20 führenden Hochspannungsleitung (9), bei dem durch Auslö-  
sen einer Schalteinrichtung (3,3a,3b), die parallel zu  
einer in Reihe in die Hochspannungsleitung einfügbaren  
Regelspule (2) in einem Parallelzweig (5) angeordnet  
ist, die Regelspule (2) in Abhängigkeit der Phase des  
25 Wechselstroms überbrückt und auf diese Weise die Impe-  
danz der Hochspannungsleitung (9) eingestellt wird.
12. Steuerungseinheit (4) zum Einstellen der Impedanz einer  
Wechselstrom führenden Hochspannungsleitung (9) mit ei-  
30 nem Nulldurchgangsgeber (12) zum Erzeugen eines Null-  
durchgangssignals (16) bei Nachweis eines Nulldurchgangs  
des Wechselstroms und wenigstens einer Auslöseeinheit  
(13, 13a, 13b), die mit dem Phasenmesser sowie mit einem

28

Zündwinkelgeber (19) zum Bereitstellen eines Zündwinkels für die Auslöseeinheit verbunden ist und die bei Erhalt eines nulldurchgangssignals nach einer dem Zündsignal entsprechenden Verzögerungszeit ein Auslösesignal erzeugt, das zum Regeln der Impedanz der Hochspannungsleitung (9) durch Überbrücken einer in Reihe in die Hochspannungsleitung (9) eingefügten Regelspule (2) mittels einer Schalteinrichtung (3) dient.

10

FIG 1  
(Stand der Technik)

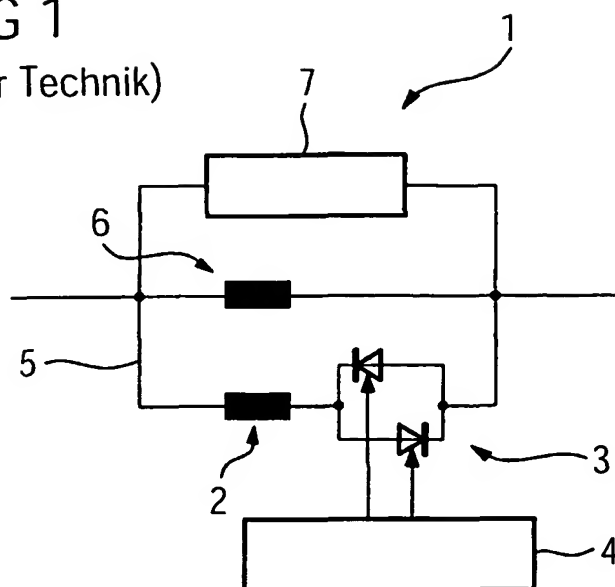


FIG 2

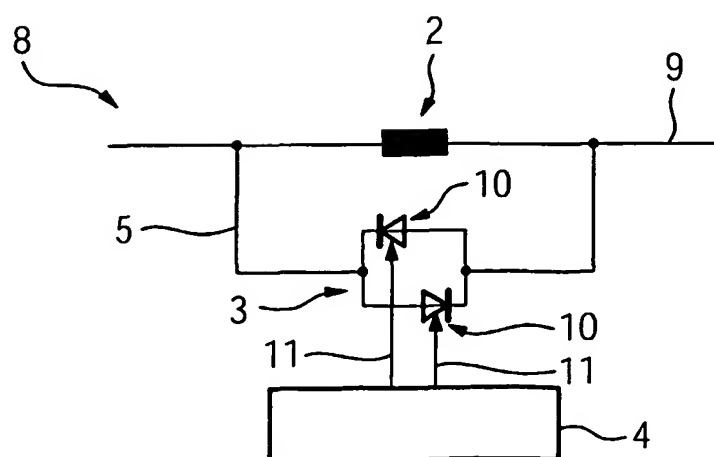


FIG 3a

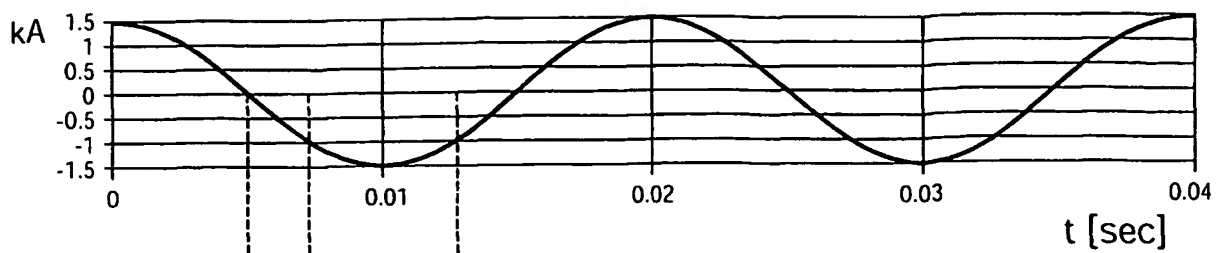


FIG 3b

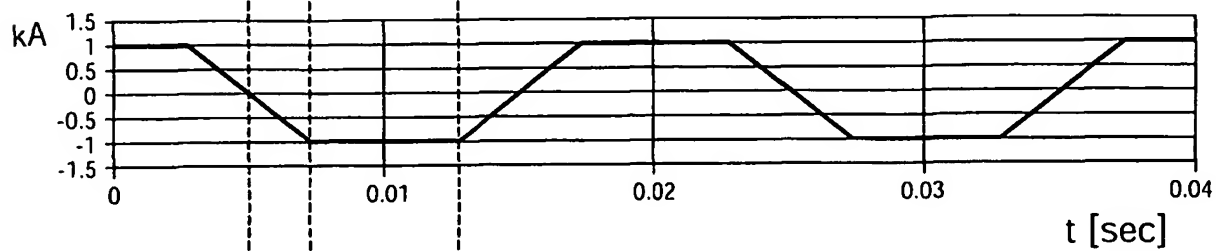


FIG 3c

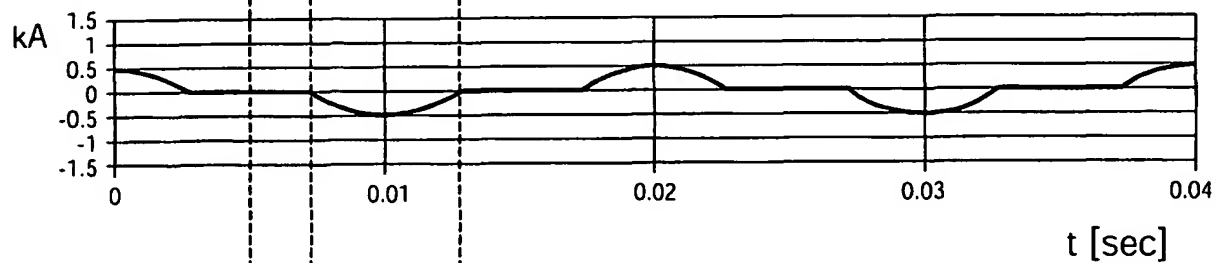


FIG 3d

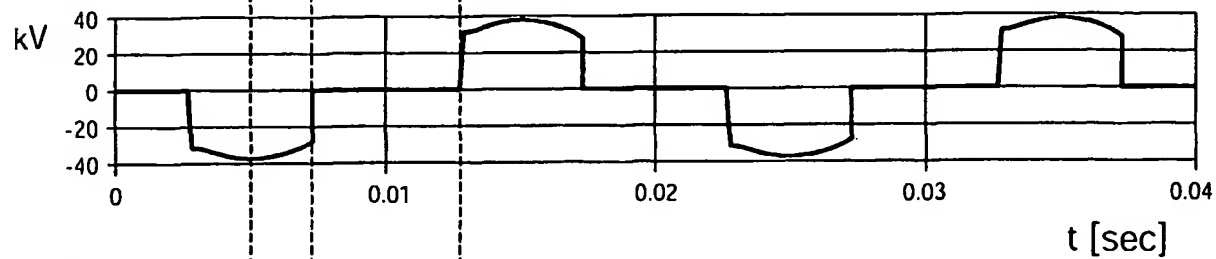


FIG 3e

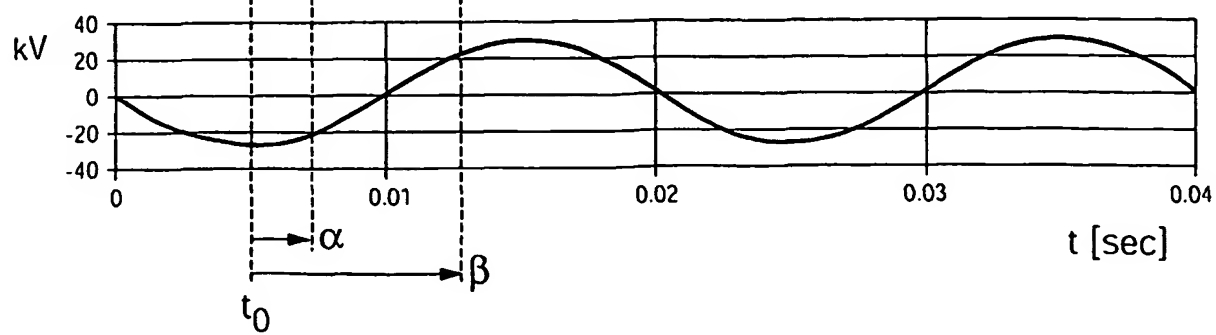
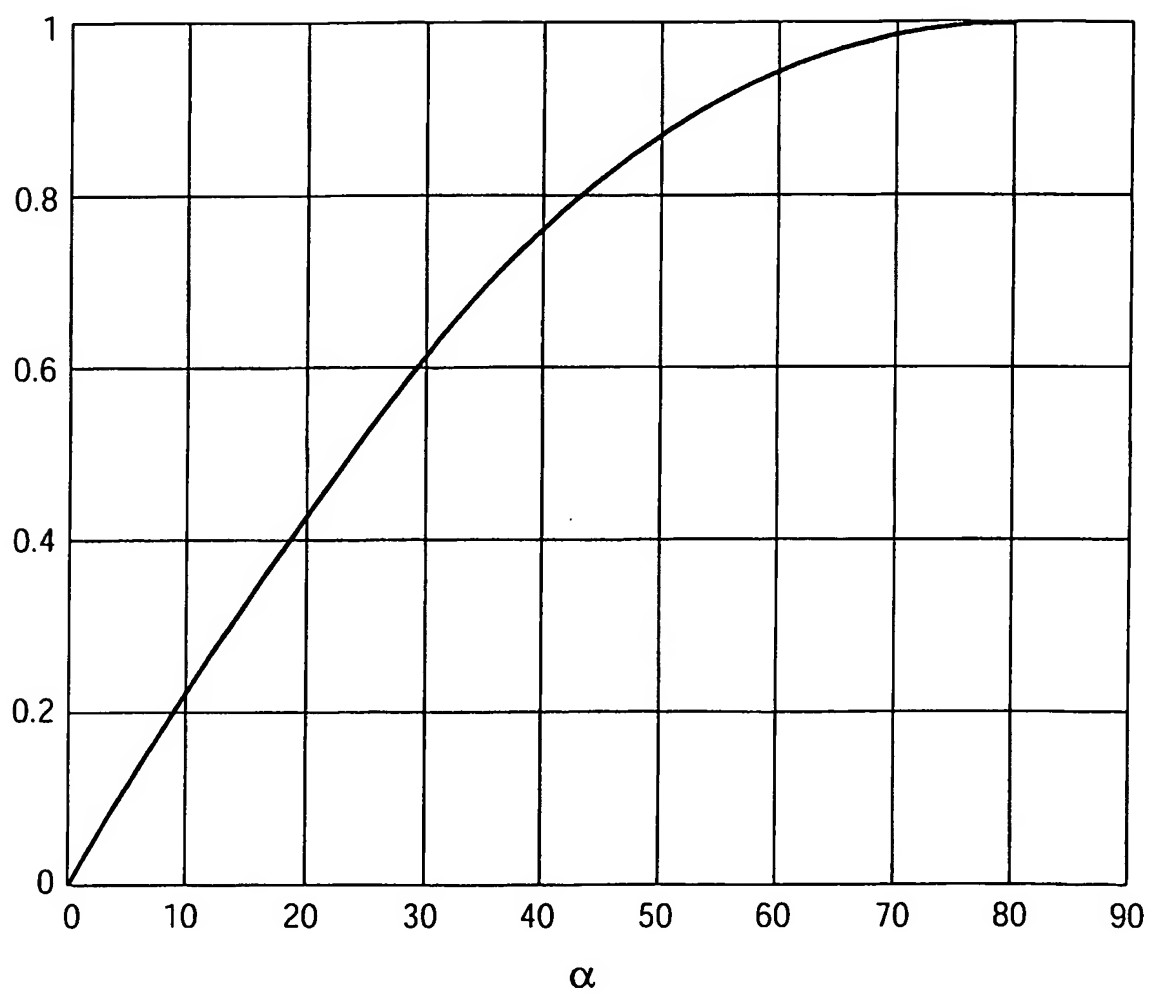


FIG 4

 $x_{\text{SUM}} / x_{\text{RSP}}$ 

4 / 16

FIG 5a

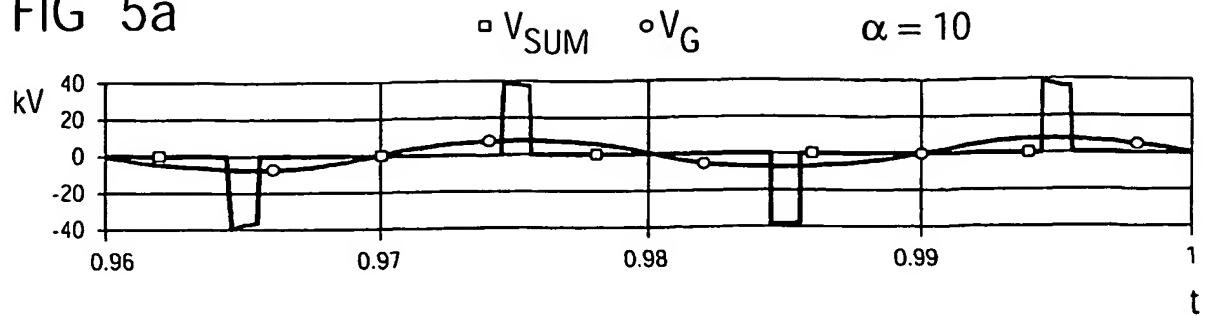


FIG 5b

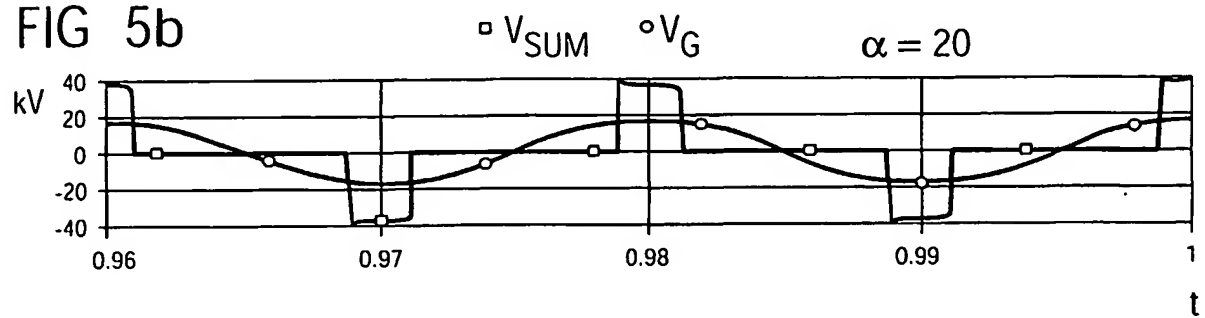


FIG 5c

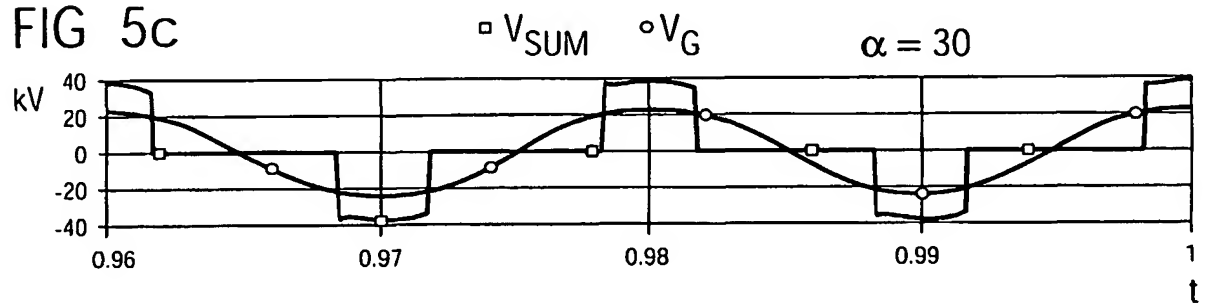


FIG 5d

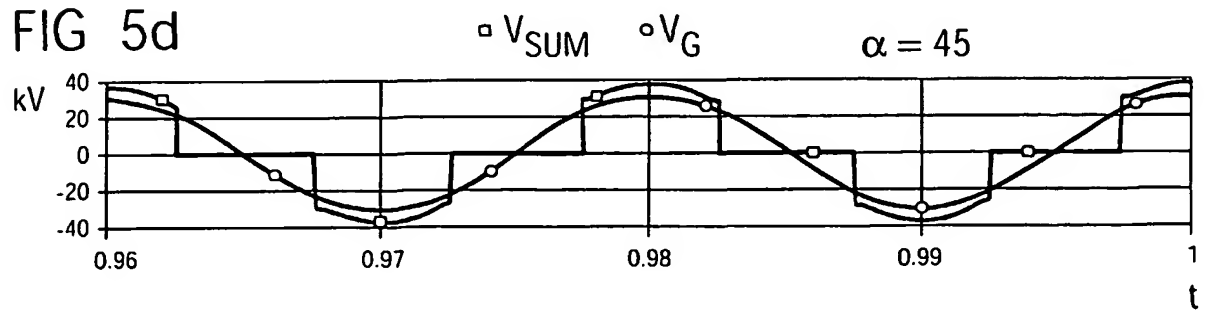


FIG 5e

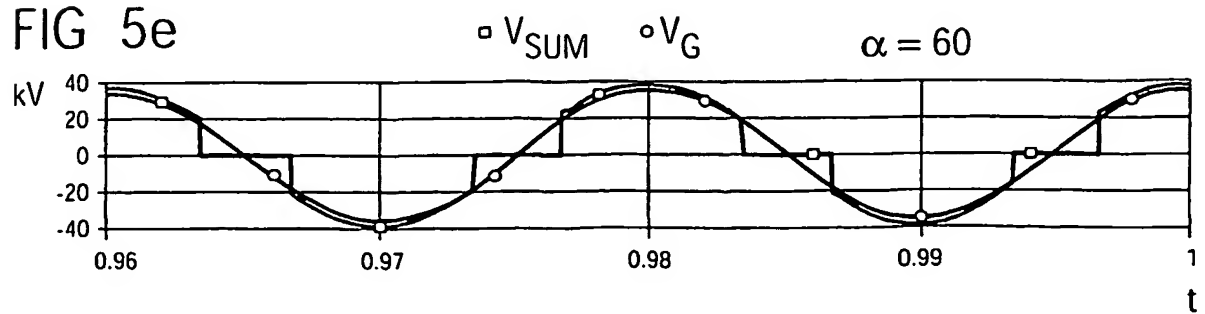




FIG 6a

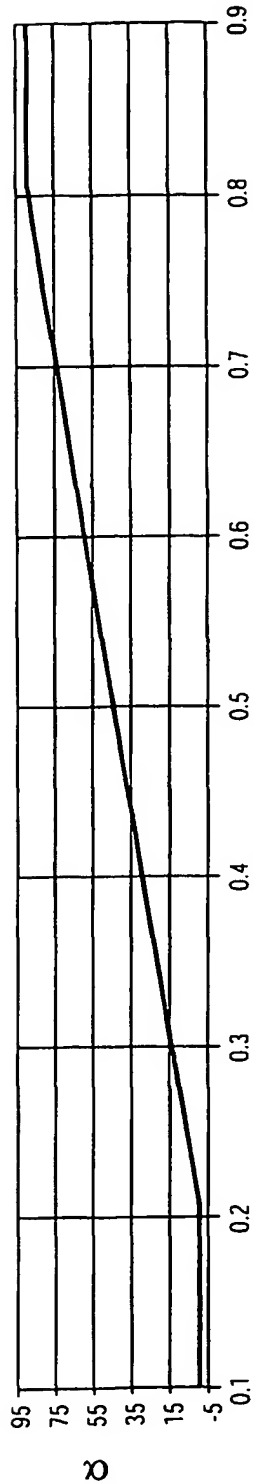


FIG 6b

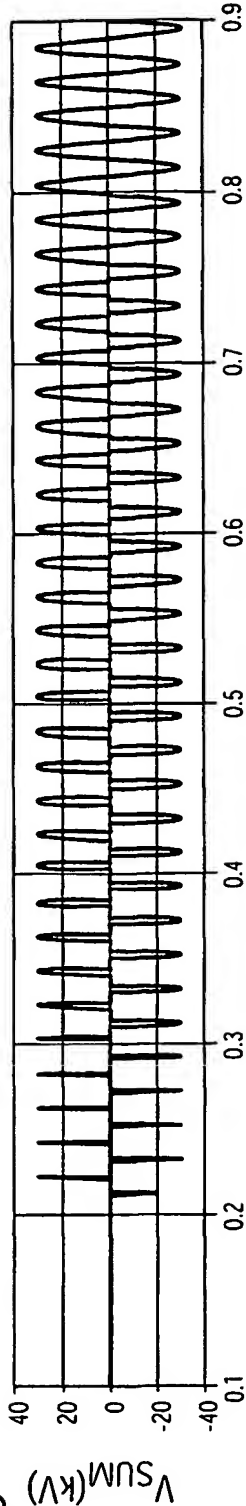


FIG 6c

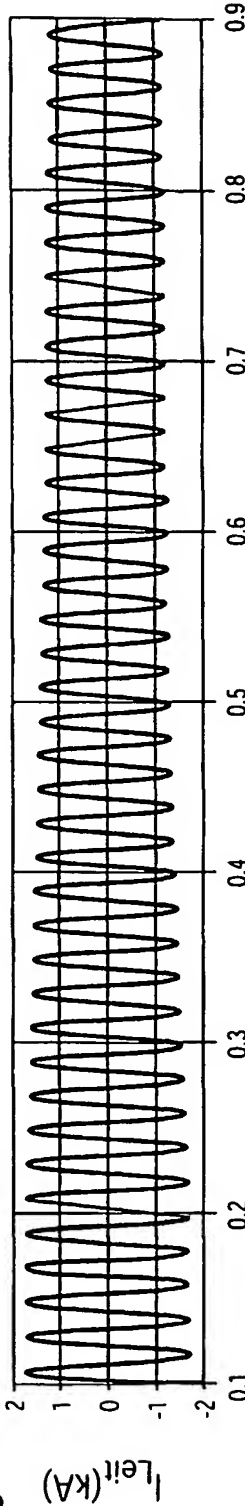


FIG 6d

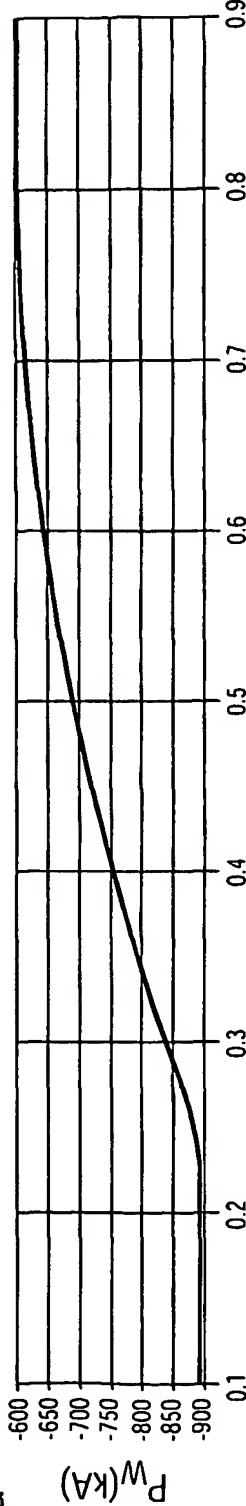


FIG 7

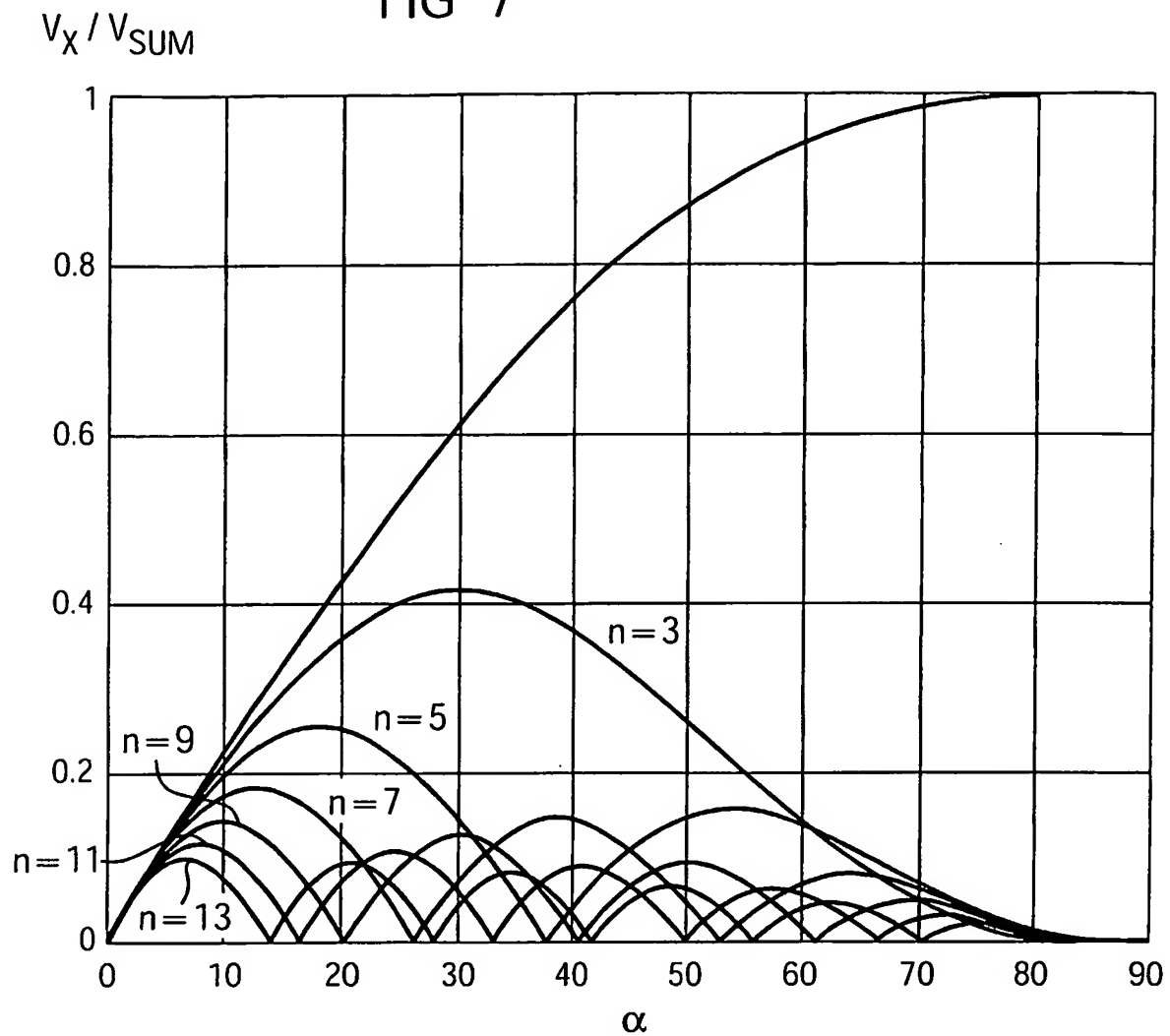


FIG 8

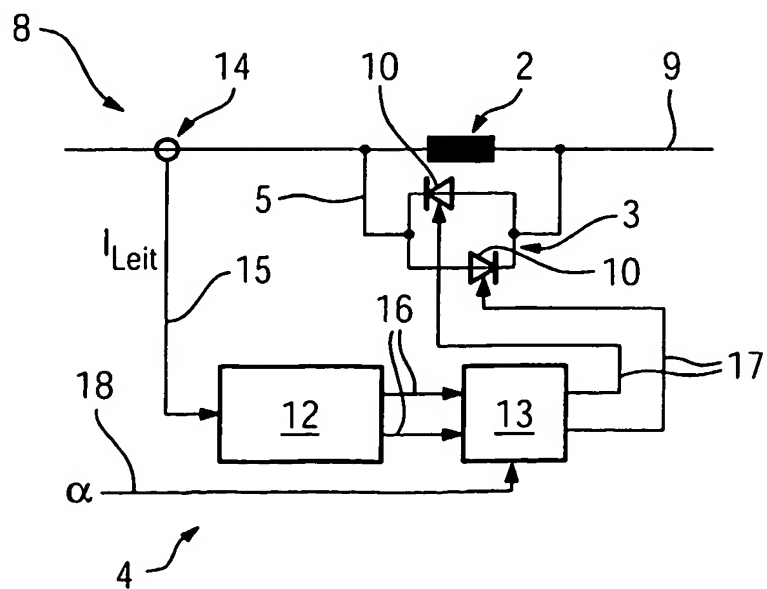


FIG 9

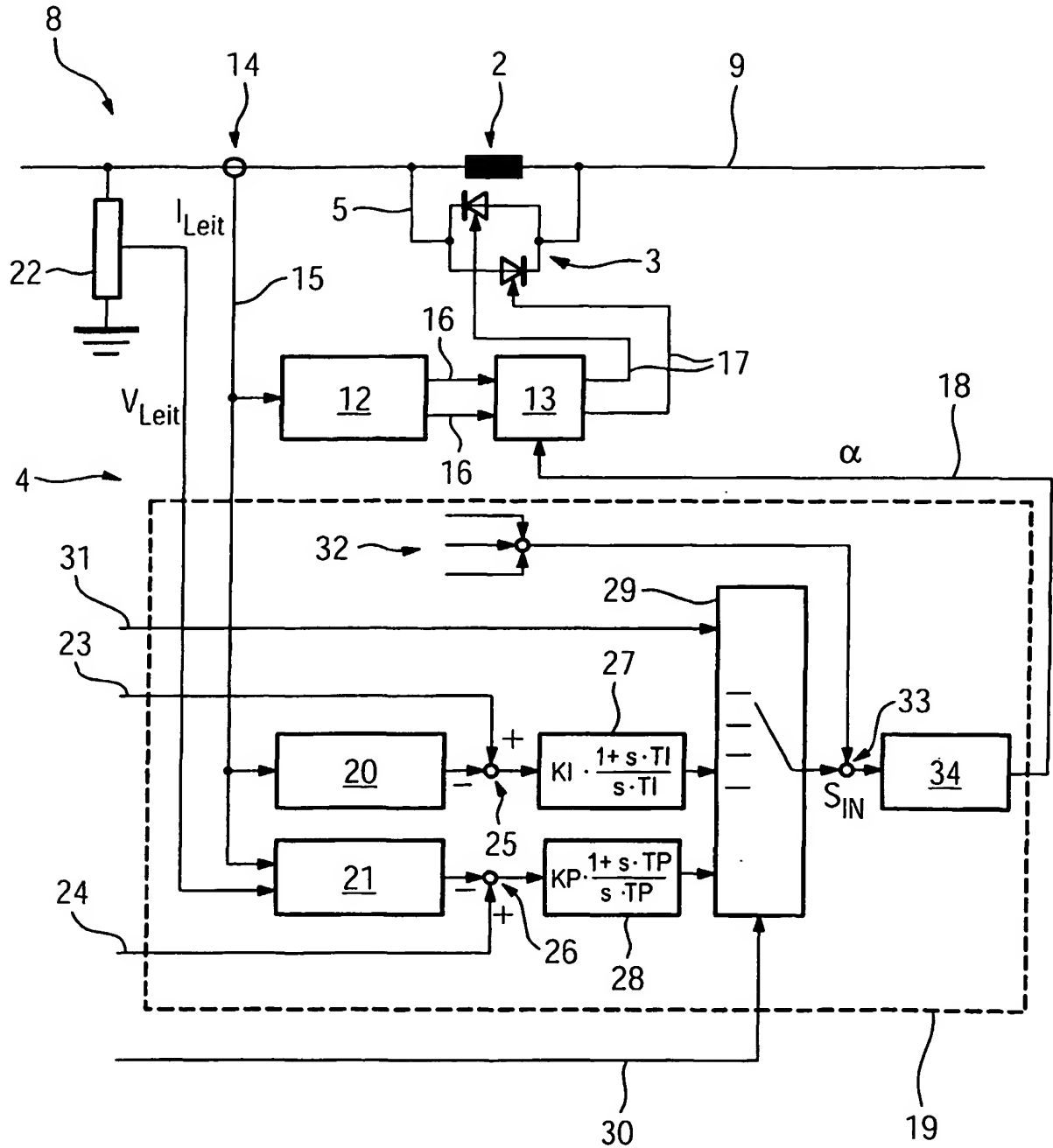


FIG 10

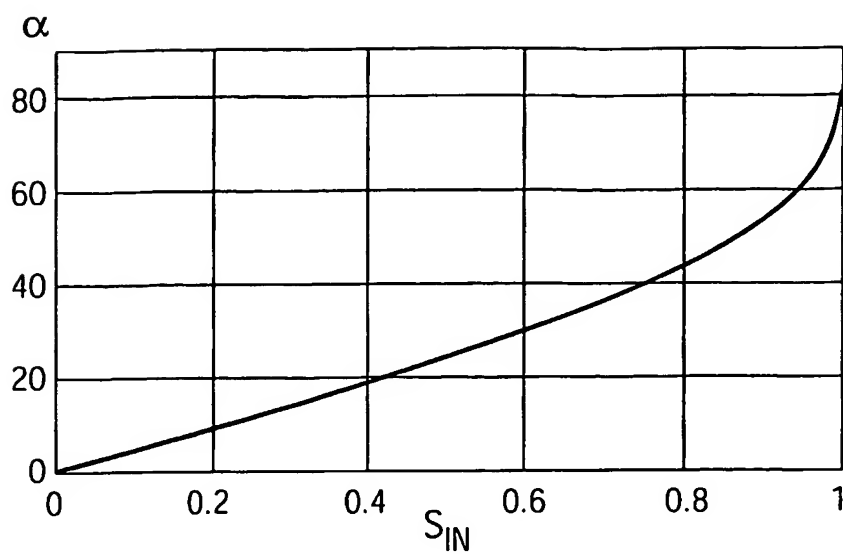


FIG 11

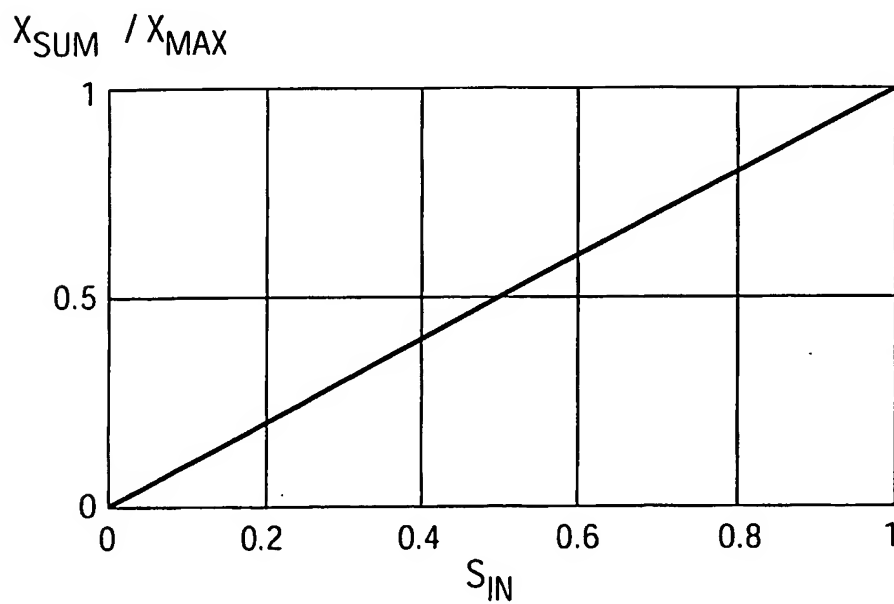


FIG 12

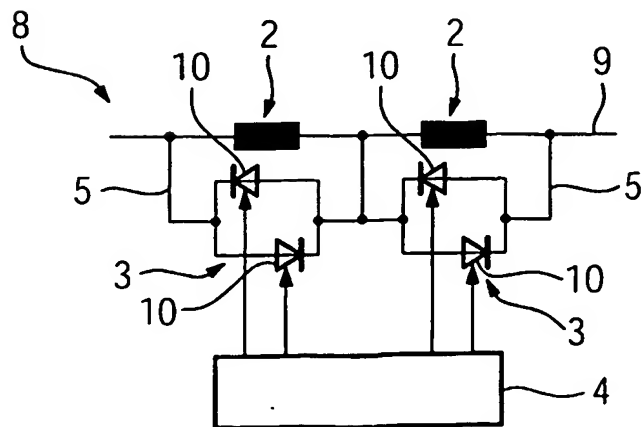


FIG 13

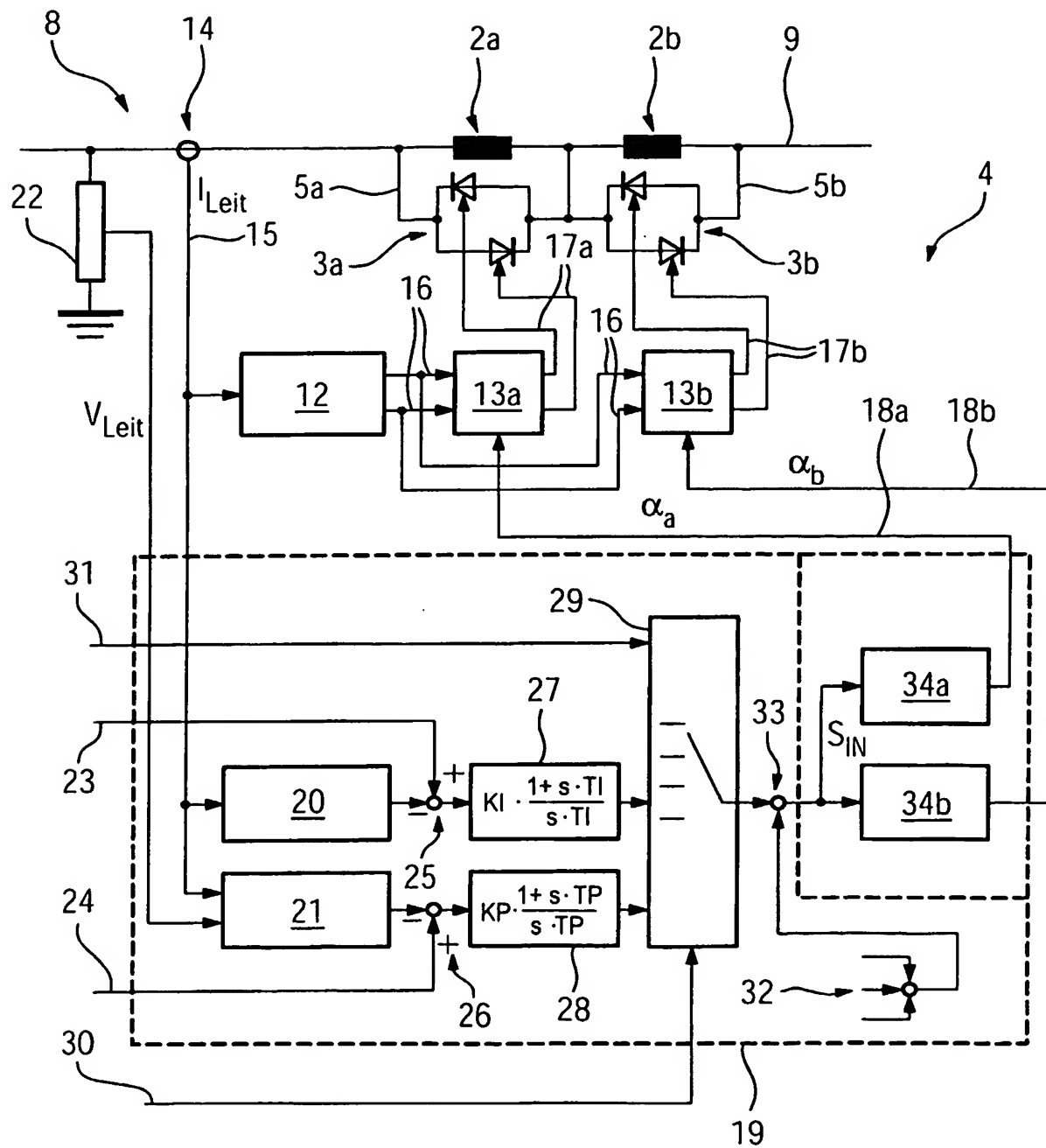


FIG 14

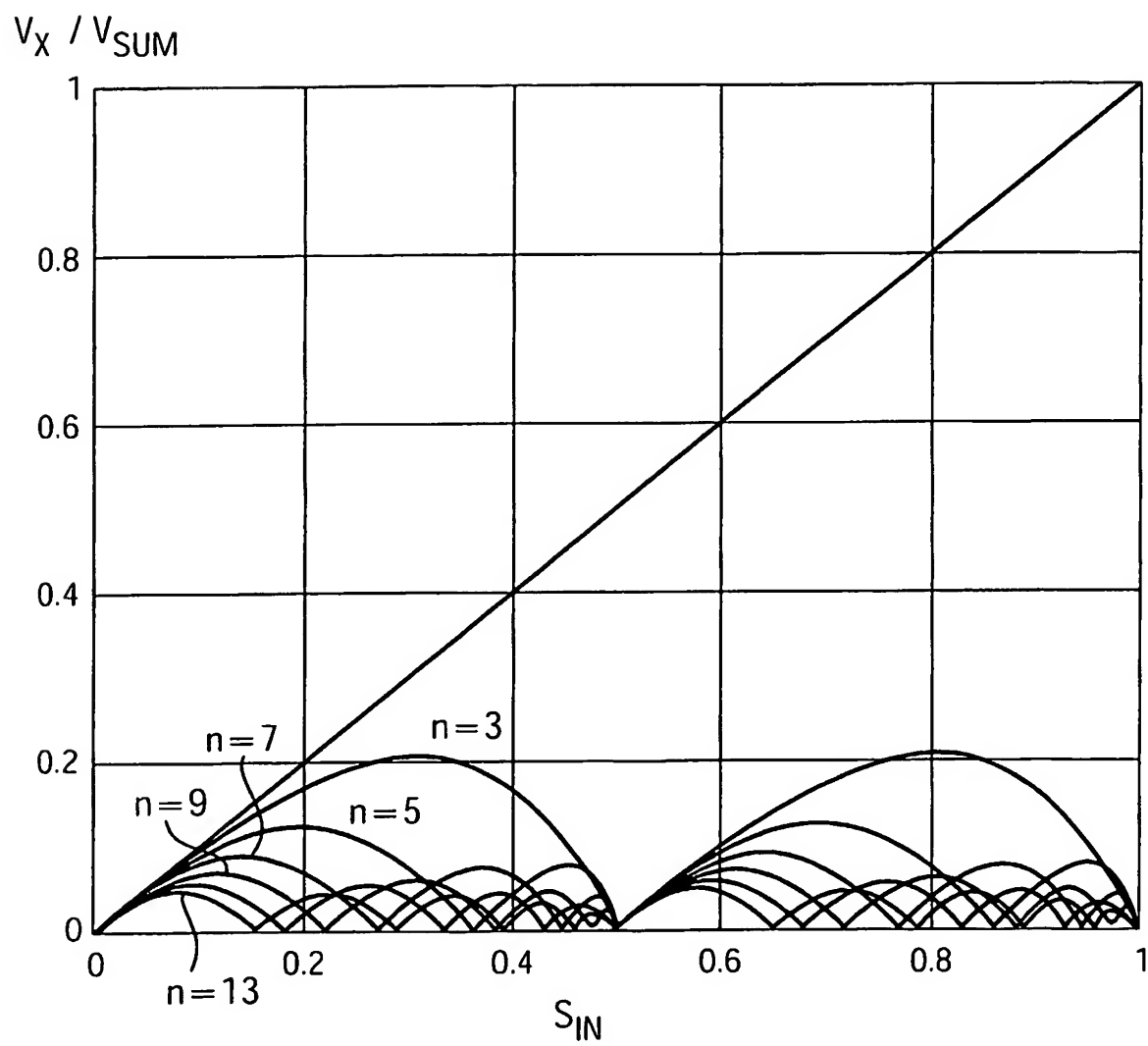


FIG 15a

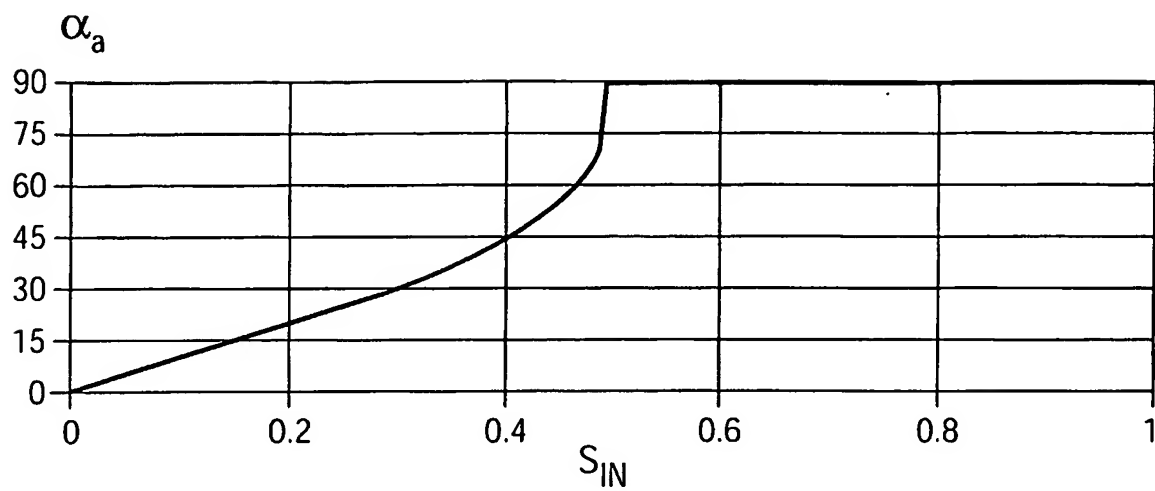


FIG 15b

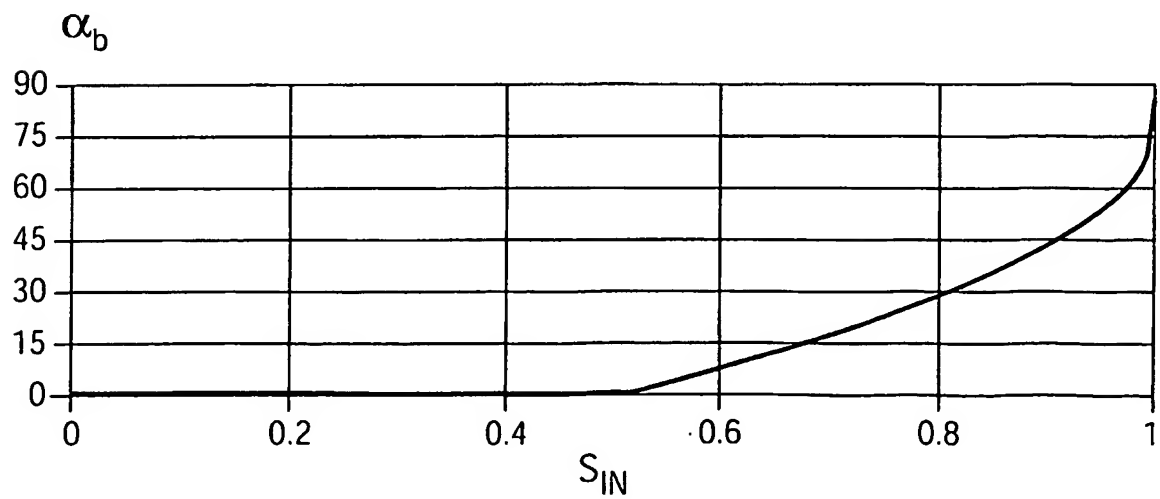


FIG 16

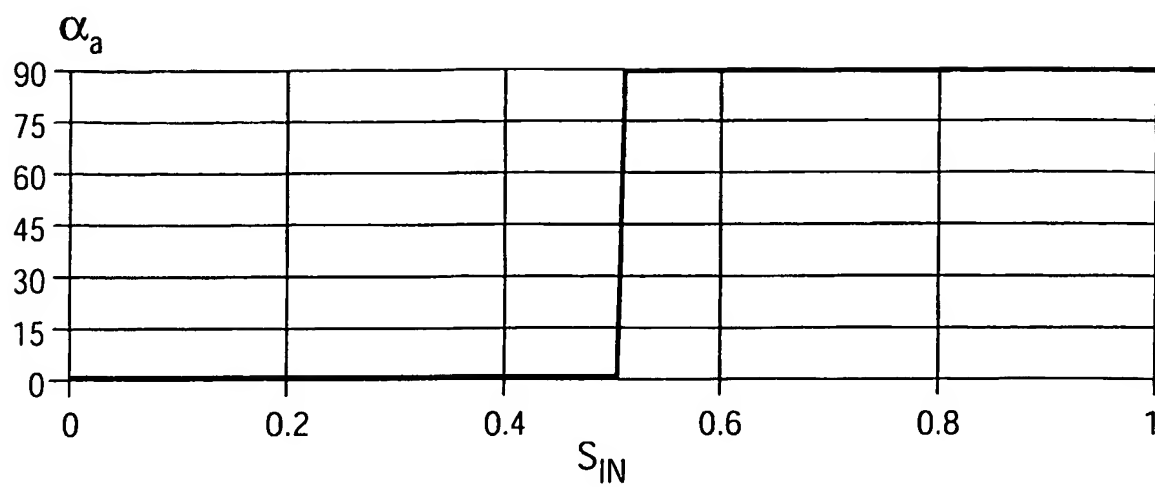


FIG 17

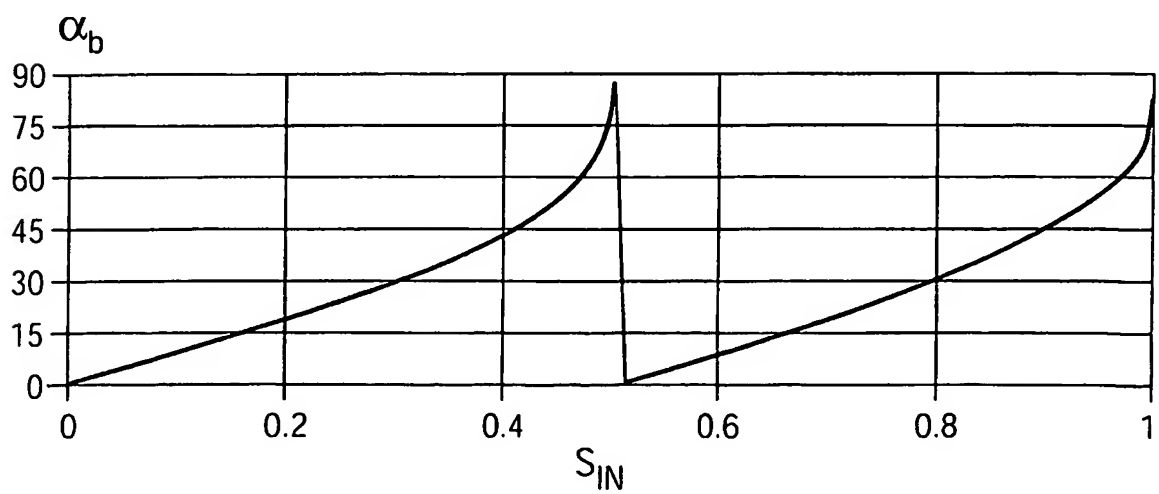




FIG 18

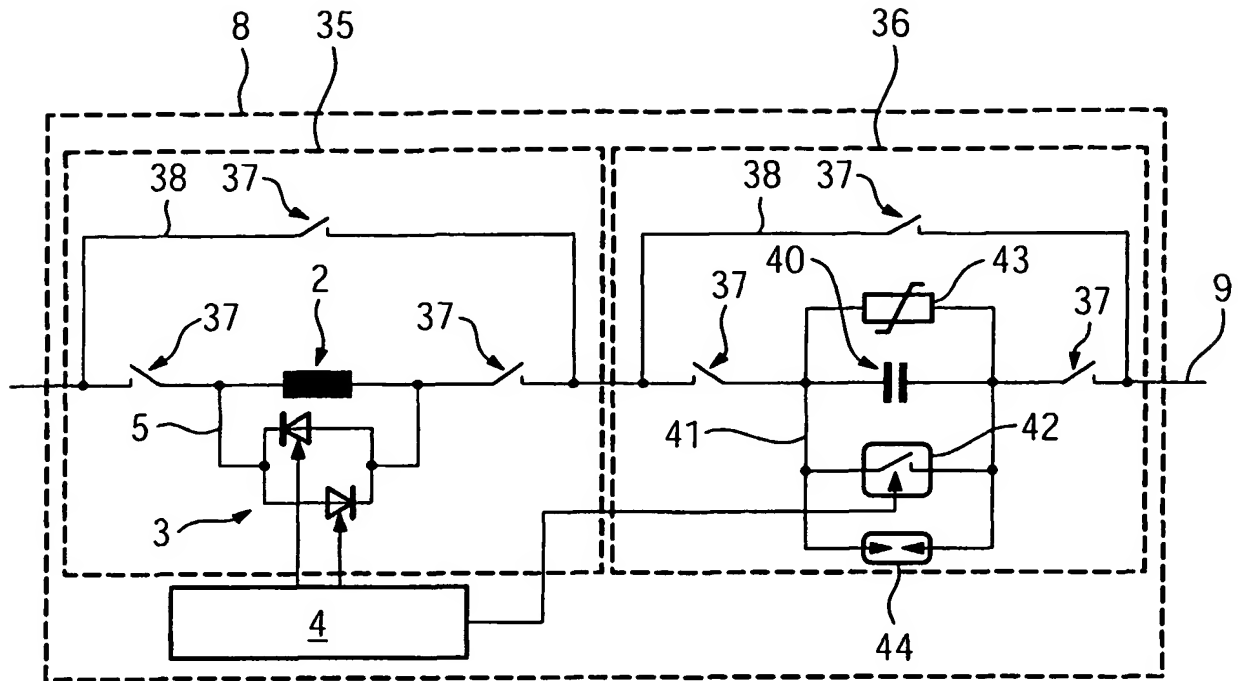


FIG 19

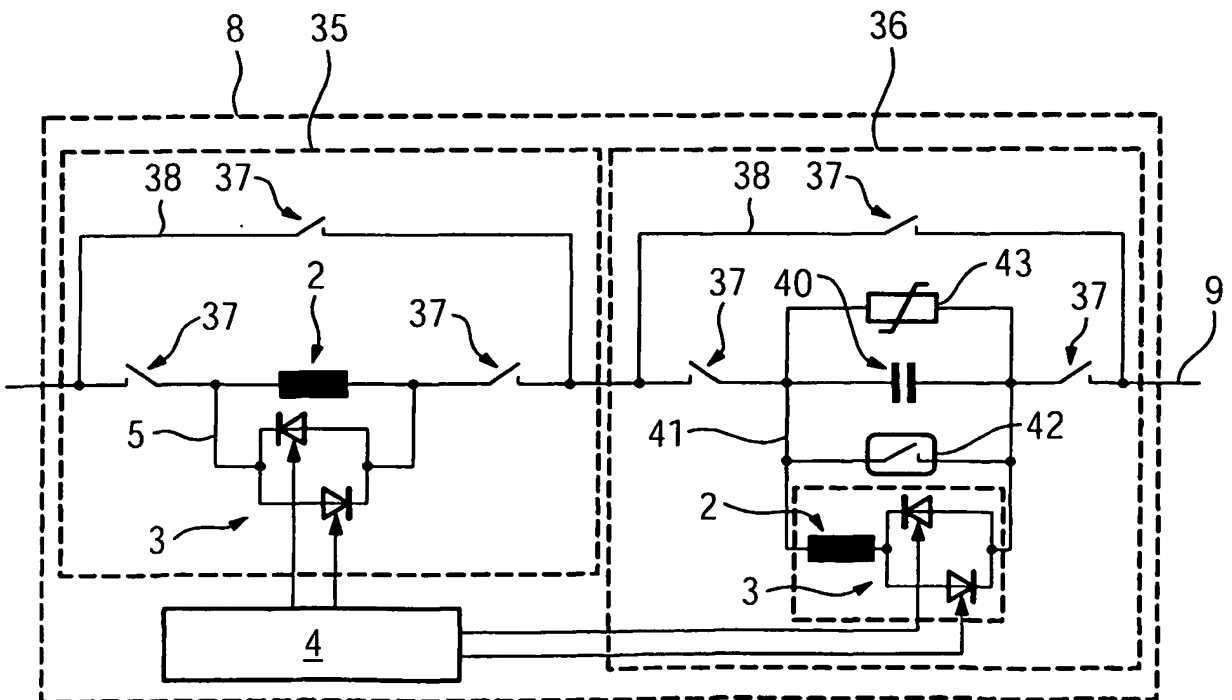


FIG 20

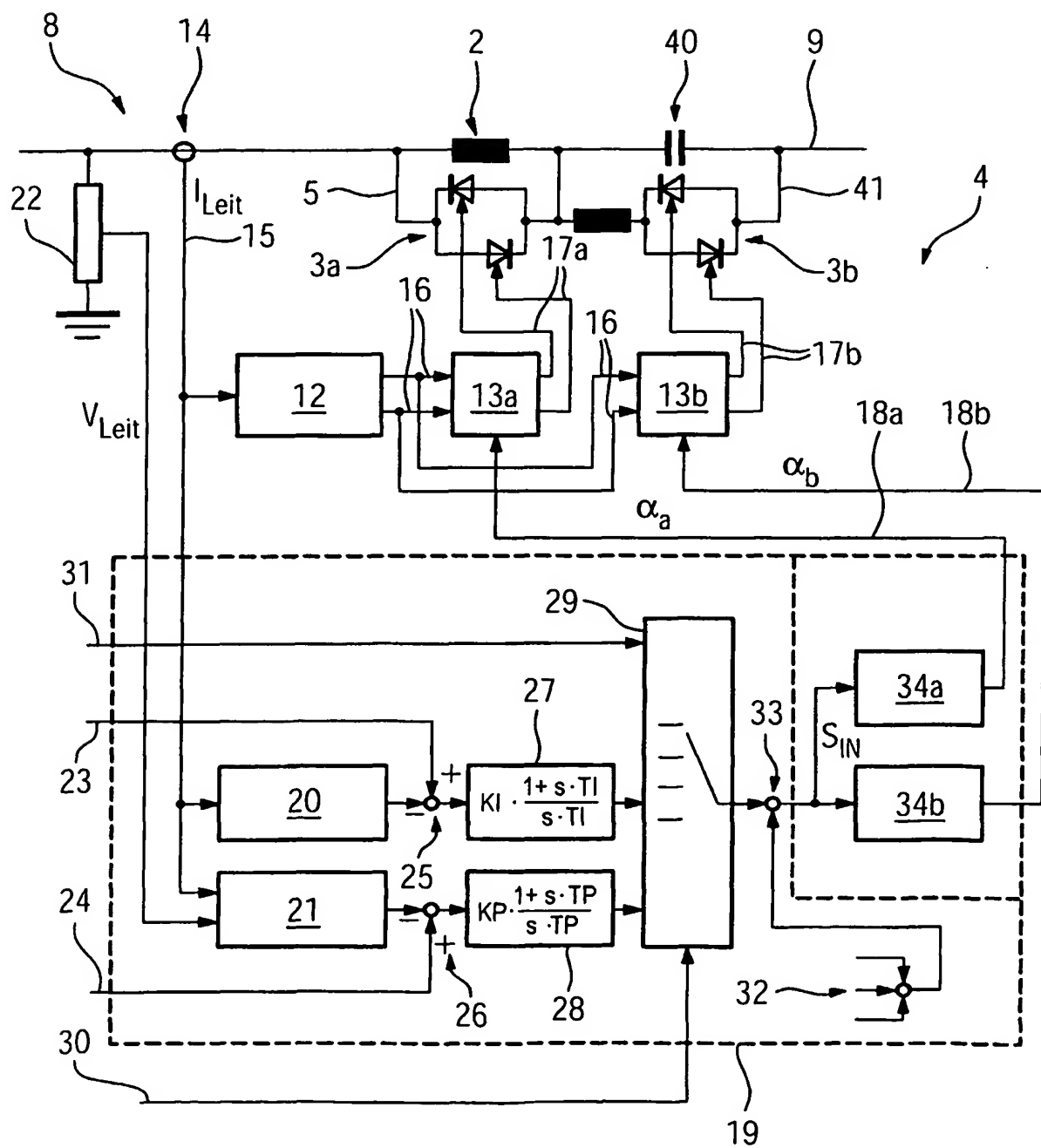


FIG 21

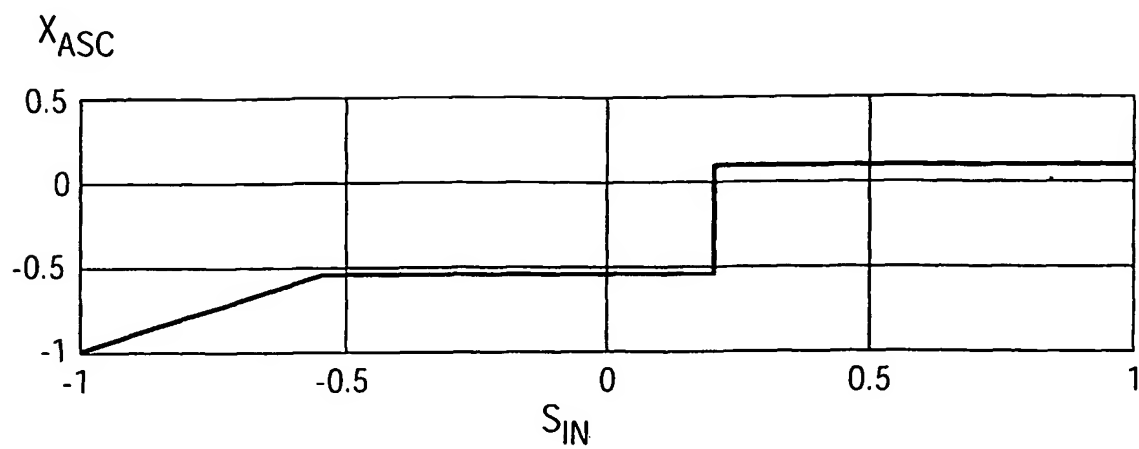


FIG 22

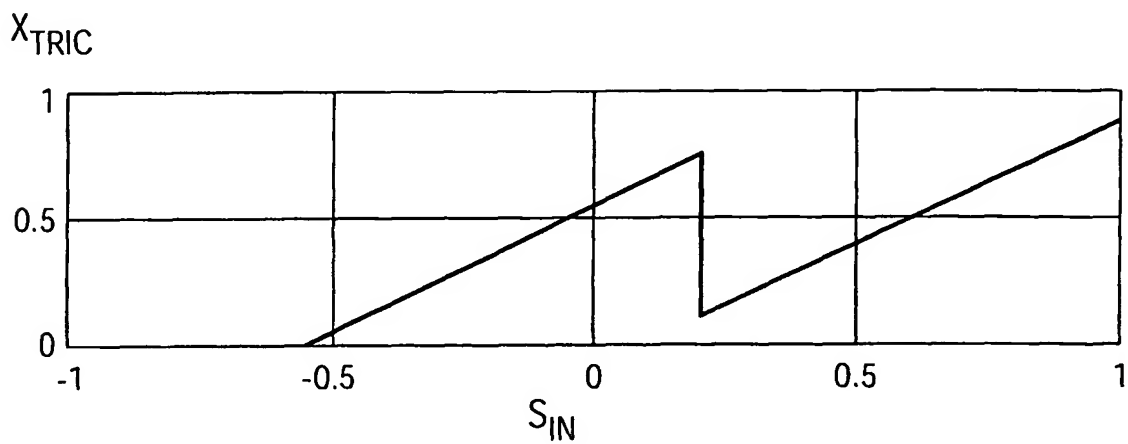


FIG 23

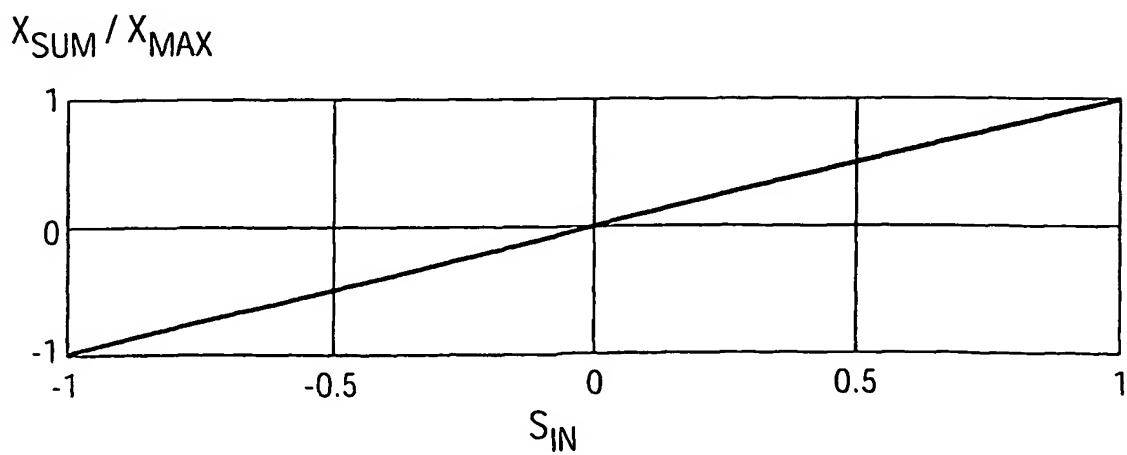
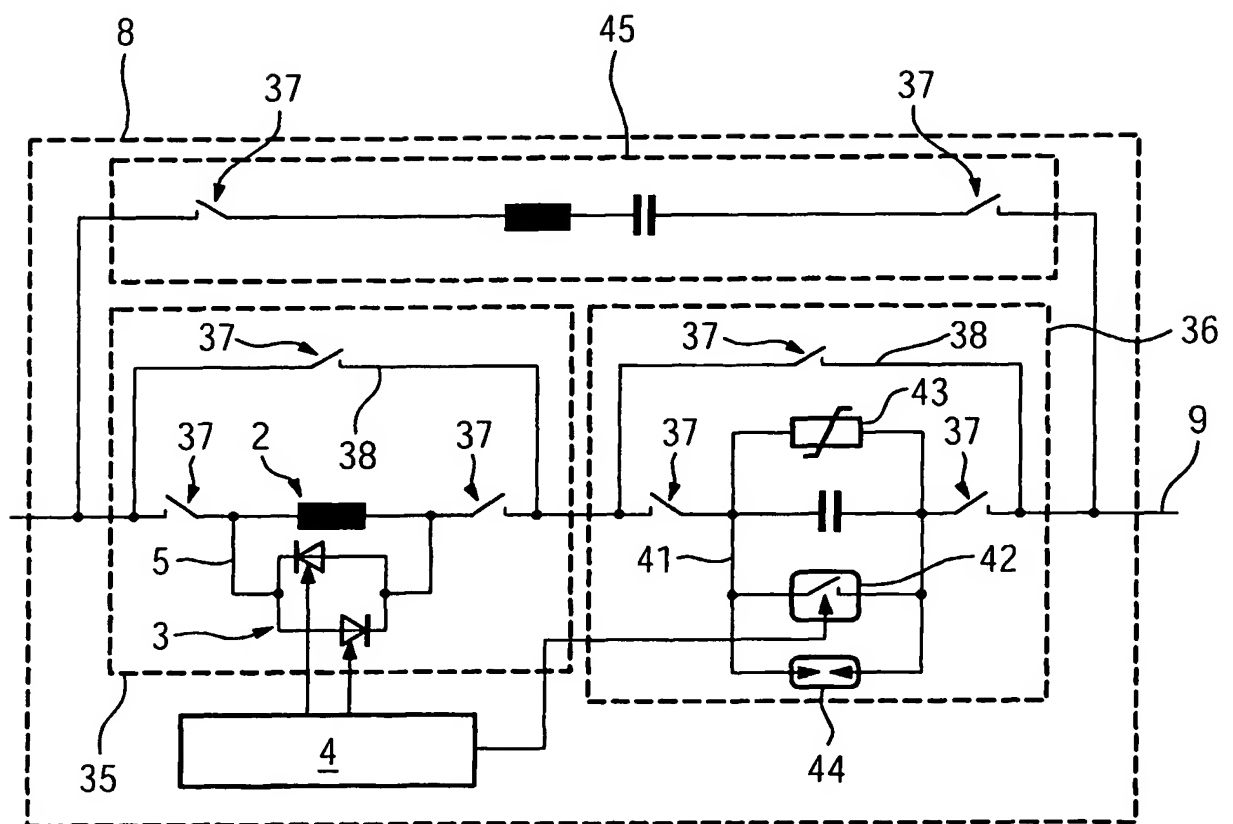


FIG 24



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE2004/001972

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G05F1/455 H02J3/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G05F H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BAYER W ET AL: "DYNAMISCHE WIRK- UND BLINDLEISTUNGSFUHRUNG FUR HOHERE UBERTRAGUNGSLEISTUNG" ELEKTROTECHNISCHE ZEITSCHRIFT - ETZ, VDE VERLAG GMBH. BERLIN, DE, vol. 111, no. 10, 1 May 1990 (1990-05-01), pages 512-515, XP000127884 ISSN: 0948-7387 page 513; figure 3b	1-3, 11, 12
X	US 6 274 851 B1 (KOJORI HASSAN ALI ET AL) 14 August 2001 (2001-08-14) column 1, line 67 - column 2, line 26; figure 1 column 9, line 1 - column 9, line 38 ----- -/--	1-3, 11

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 January 2005

Date of mailing of the international search report

03/02/2005

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Braccini, R

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE2004/001972

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 951 126 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 20 October 1999 (1999-10-20) paragraph '0042!; figure 1a -----	1-12
A	DE 196 19 305 A (SIEMENS AG) 28 November 1996 (1996-11-28) the whole document -----	1-12
A	EP 0 258 314 B (VITHAYATHIL JOHN J) 8 September 1993 (1993-09-08) cited in the application the whole document -----	1-12

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2004/001972

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6274851	B1	14-08-2001	NONE	
EP 0951126	A	20-10-1999	EP 0951126 A1	20-10-1999
			CN 1232310 A , B	20-10-1999
			JP 11299105 A	29-10-1999
			US 6075349 A	13-06-2000
DE 19619305	A	28-11-1996	DE 19619305 A1	28-11-1996
EP 0258314	B	09-03-1988	US 5032738 A	16-07-1991
			AT 94297 T	15-09-1993
			AU 7026987 A	14-08-1987
			BR 8705390 A	22-12-1987
			CA 1312649 C	12-01-1993
			DE 3787335 D1	14-10-1993
			DE 3787335 T2	05-01-1994
			EP 0258314 A1	09-03-1988
			FI 874135 A	22-09-1987
			IN 166749 A1	14-07-1990
			NO 873937 A , B ,	23-11-1987
			TR 23181 A	06-06-1989
			WO 8704538 A1	30-07-1987

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE2004/001972

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G05F1/455 H02J3/18

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G05F H02J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	BAYER W ET AL: "DYNAMISCHE WIRK- UND BLINDLEISTUNGSFUHRUNG FÜR HOHERE ÜBERTRAGUNGSLEISTUNG" ELEKTROTECHNISCHE ZEITSCHRIFT - ETZ, VDE VERLAG GMBH. BERLIN, DE, Bd. 111, Nr. 10, 1. Mai 1990 (1990-05-01), Seiten 512-515, XP000127884 ISSN: 0948-7387 Seite 513; Abbildung 3b	1-3, 11, 12
X	US 6 274 851 B1 (KOJORI HASSAN ALI ET AL) 14. August 2001 (2001-08-14) Spalte 1, Zeile 67 - Spalte 2, Zeile 26; Abbildung 1 Spalte 9, Zeile 1 - Spalte 9, Zeile 38 ----- -/-	1-3, 11

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*A\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. Januar 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

03/02/2005

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Braccini, R



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE2004/001972

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 951 126 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 20. Oktober 1999 (1999-10-20) Absatz '0042!; Abbildung 1a -----	1-12
A	DE 196 19 305 A (SIEMENS AG) 28. November 1996 (1996-11-28) das ganze Dokument -----	1-12
A	EP 0 258 314 B (VITHAYATHIL JOHN J) 8. September 1993 (1993-09-08) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-12

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2004/001972

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6274851	B1	14-08-2001	KEINE
EP 0951126	A	20-10-1999	EP 0951126 A1 20-10-1999 CN 1232310 A ,B 20-10-1999 JP 11299105 A 29-10-1999 US 6075349 A 13-06-2000
DE 19619305	A	28-11-1996	DE 19619305 A1 28-11-1996
EP 0258314	B	09-03-1988	US 5032738 A 16-07-1991 AT 94297 T 15-09-1993 AU 7026987 A 14-08-1987 BR 8705390 A 22-12-1987 CA 1312649 C 12-01-1993 DE 3787335 D1 14-10-1993 DE 3787335 T2 05-01-1994 EP 0258314 A1 09-03-1988 FI 874135 A 22-09-1987 IN 166749 A1 14-07-1990 NO 873937 A ,B, 23-11-1987 TR 23181 A 06-06-1989 WO 8704538 A1 30-07-1987